

## D6.1 Vergleich der Schadenmodellanalysen bezüglich Sturmereignissen

18.01.2022

VERSION:	Version 1.1
STATUS:	<u>final</u>
DATUM:	18.01.2022
ERSTELLT:	Stefan Kienberger
AUTOREN:	David N. Bresch, Dominik Kortschak, Judith Köberl, Franz Prettenthaler, Thomas Rösli, Theresa Schellander-Gorgas, Dirk Tiede
FREIGEgeben DURCH:	

## KURZZUSAMMENFASSUNG

---

Im Arbeitspaket (AP) 6 - Spezifikation und Integration Zusatzinformationen – wurden zusätzliche Informations- bzw. Datenquellen zu Validierung bzw. Ergänzung bestehender Schadensdaten gesammelt und analysiert, welche einen Mehrwert für CESARE haben. Ziel des AP6 war, die Spezifikation vorhandener sinnvoller ergänzender Datensätze, Schnittstellen zu und Integration aus nationalen Erdbeobachtungsdatenrespositorien (Testcases und genereller Prozess) herzustellen, das Potential einer möglichen Integration von Impaktmodellsimulationen zur Datenlückenschließung oder zur Validierung von Beobachtungsdaten zu bewerten und eine mögliche Integration von EC Services abzuklären. In einem ersten Schritt wurden diese aufbauend auf einem einheitlichen Schema gesammelt und bewertet und insbesondere Modelle zur Analyse von Sturmereignissen analysiert.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass eine Reihe von Modellen und Services großes Potential haben, Datenlücken zu füllen bzw. vorhandene Daten zu erweitern. Grundsätzlich ist der Gefahren-Kontext bzw. auch die räumliche und temporale Auflösung sehr heterogen und es muss spezifisch bewertet werden, welches Modell/Service sinnvollerweise integriert werden kann.

Zur Validierung bzw. auch Ergänzung von Schadensereignissen ex-post bietet sich insbesondere der Demonstrator Sen2Cube.at an, welcher Veränderungsanalysen basierend auf aktuellen Sentinel-2-Erdbeobachtungsdaten in einem Web-basierten graphical user interface (GUI) erlaubt. Es ließen sich z.B. Schadensflächen durch Sturmereignisse, Massenbewegungen bzw. Überschwemmungsflächen (abhängig von der Wolkenbedeckung) validieren bzw. falls notwendig auch quantifizieren bzw. abgrenzen und deren weitere Entwicklung monitoren. Der Service ist aktuell als Demonstrator eingerichtet und daher nicht operationell, kann aber im Prinzip über OGC-konforme Services eingebunden werden.

Bei den beiden analysierten probabilistischen Sturmschadenmodellen gilt zu beachten, dass Performance und Qualität von Top-Down Impaktmodellen wie das CLIMADA- und das JR-Sturmschadenmodell stark von der Qualität der verfügbaren Kalibrierungs- und Eingangsdaten abhängen. Diese Art von Modellen kann ihre Vorteile und Qualitäten also insbesondere dann gut ausspielen, wenn möglichst viele sowie räumlich und zeitlich hinreichend hochaufgelöste Impakt- bzw. Schadendaten für die Kalibrierung der Modelle vorhanden sind. Neben der Möglichkeit, dass Impaktmodelle für CESARE Zusatzinformationen bereitstellen, können andererseits also auch Impaktmodelle von den Schadendaten einer standardisierten, räumlich und zeitlich hinreichend hochaufgelösten sowie möglichst vollständigen Ereignis- und Schadendatenbank stark profitieren, indem sich Modellunsicherheiten reduzieren lassen.

Was die analysierten potentiellen Einsatzmöglichkeiten der Sturmimpaktmodelle betrifft (klimatologische Analysen, ex-ante Sturmschadenwarnungen, Lückenfüllungen in der CESARE-Datenbank), zeigt sich, dass derzeit vorhandene Modellunsicherheiten das Anwendungsspektrum zum Teil einschränken. Für das Füllen von Datenlücken in der CESARE-Datenbank – etwa im Bereich versicherter Sturmschäden – eignen sich die probabilistischen Impaktmodelle derzeit nur bedingt. So geben die Modellsimulationen zwar einen guten Eindruck über die Größenordnung des Schadens, eignen sich aufgrund der mitunter hohen Schwankungsbreiten vorerst aber nicht für exakte Schadensschätzungen. Hier muss sich der Einsatzbereich vorläufig mehr auf die Ermittlung der

Größenordnung der Lücken als auf die Füllung der Lücken beschränken. Mit verbesserten Kalibrierungsdaten könnten Modellunsicherheiten jedoch reduziert werden. Zu den derzeit vielversprechenderen Einsatzbereichen zählen hingegen klimatologische Analysen zum Sturmschadenpotential, etwa was erwartete Schäden bei einem 50-jährigen, 100-jährigen oder 200-jährigen Sturmereignis bzw. Sturmschadenjahr betrifft, sowie ex-ante Sturmschadenwarnungen. Letztere können bereits kurz vor einem Ereignis Auskunft über die voraussichtlich betroffenen Regionen und die jeweiligen Größenordnungen des zu erwartenden Schadens geben, was einerseits die Einsatzplanung im Bereich Katastrophenschutz und Blaulichtorganisationen, aber auch die Planung von Schadenerhebungstätigkeiten unterstützen kann.

# INHALT

---

<b>KURZZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>2</b>
<b>INHALT</b>	<b>4</b>
<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>5</b>
<b>2. INVENTARISIERUNG UND ANALYSE VON ZUSATZDIENSTEN</b>	<b>5</b>
<b>3. VERGLEICH DER SCHADENMODELLANALYSEN BEZÜGLICH STURMEREIGNISSEN</b>	<b>7</b>
<b>4. AUSBLICK</b>	<b>31</b>
<b>5. REFERENZEN</b>	<b>32</b>

## 1. EINLEITUNG

---

Im Arbeitspaket (AP) 6 - Spezifikation und Integration Zusatzinformationen – wurden zusätzliche Informations- bzw. Datenquellen zu Validierung bzw. Ergänzung bestehender Schadensdaten gesammelt und analysiert, welche einen Mehrwert für CESARE haben. Ziel des AP6 war:

- die Spezifikation vorhandener sinnvoller ergänzender Datensätze
- Schnittstellen zu und Integration aus nationalen Erdbeobachtungsdatenrespositorien (Testcases und genereller Prozess) herzustellen
- die Integration von Impaktmodellsimulationen zur Datenlückenschließung oder zur Validierung von Beobachtungsdaten
- die Klärung einer möglichen Integration von EC Service

In einem ersten Schritt wurden diese aufbauend auf einem einheitlichen Schema gesammelt und bewertet und insbesondere Modelle zur Analyse von Sturmereignissen analysiert.

## 2. INVENTARISIERUNG UND ANALYSE VON ZUSATZDIENSTEN

---

Neben der Sammlung und Aufbereitung bestehender Schadensdaten aus spezifischen föderalen und nationalen Quellen, wurden im Rahmen des Projektes CESARE auch weitere Modelle bzw. zur Verfügung stehende Dienste/Services analysiert, welche einen Mehrwert für CESARE haben. Ziel ist es dabei, einerseits bestehende Datenlücken zu schließen bzw. zu ergänzen (z.B. Erweiterung von Punktinformationen zu Flächeninformationen) bzw. Ereignisse zu validieren bzw. die Datenbank um weitere Parameter – falls vorhanden – zu erweitern. Neben thematischen und inhaltlichen Aspekten, wurden die Modelle/Services auch hinsichtlich ihrer möglichen technischen Integration hin überprüft.

Folgende Modelle/Services wurden untersucht:

- Integration von Sturmmodellen
- Integration von Sentinel Daten ('semantic EO Data Cube')
- Integration von Wetterdaten
- Integration von Services der Europäischen Kommission (Copernicus & Risk Data Hub)

Diese wurden nach folgenden Kriterien analysiert.

- Name des Tools oder Modells
- Eigentümer
- Kurzbeschreibung mit Link
- Publikation falls vorhanden
- Kurzbeschreibung eines Anwendungsfalles
- Gefahrentyp ('Hazard')
- Zeitliche Auflösung
- Räumliche Auflösung
- Potential zur Ergänzung für CESARE
- Potential um Ereignisse zu validieren
- Übertragbarkeit
- Skalierbarkeit

- Technische Schnittstelle mit CESARE
- Nutzungsbedingungen

Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 zusammengefasst dargestellt. Eine komplette Übersicht ist in Annex 1 angefügt.

	Integration of storm models [JRC]	Integration of storm models [CLIMADA]	Section 2 semantic data & information cube for Austria	Integration of weather data [ZAMG]	Integration of weather data [ZAMG]	Integration of weather data [ZAMG]	Integration of EC CBRS [SPN 16, ZAMG]	Integration of EC CBRS [SPN 16, ZAMG]	Integration of ERM [SPN 16, ZAMG]
Name Tool/Model*	JRC Storm loss model	CLIMADA	Sen2Cube.at	SPN16.at	TRG	SPN16.at	EC-ERC	EC-ERC	Risk Data Hub
Owner*	JRC/EMU RESEARCH	EMU2work, Sen2Cube	Sen2Cube.at, JRC / Spain	ZAMG	ZAMG	ZAMG	EC-ERC	EC-ERC	EC-ERC
Short description of location*	Italy & Greece, Austria	Europe	Austria	Austria (excl. South Tyrol)	Austria	Austria	Global	Global	Global
Hazard type*	storms	storms	large scale storms (damage, forests), large scale risks in concrete, flooding (depends on cloud cover)	Precipitation data relevant for floods and risks in concrete	Precipitation data relevant for floods and risks in concrete	flow data relevant for flood and the situation of mass movements	flood	All	All
Temporal resolution	event	event	in principle < 5 days	daily	precipitation, 15 min, other parameters: hourly	daily	conditions	conditions	conditions
Spatial resolution	two-digit postcode regions (i.e. CERSA zones)	hexad resolution as provided (PNS, etc.), country exposure resolution: maximum 500m	> 10 m	1 km	1 km	1 km	point / polygon	point / polygon	municipality / point / polygon
Type (Risk loss?)	Risk/Impact assessment	X	X				X	X	X
	Prediction (Weather)		X		X	X	X		
	Projection (Climate)	X	X	X					
Potential to close data gaps in CBRS*	needs to be assessed (see research question 2)	needs to be assessed	needs to be assessed	as an asset of potential events					
Potential to validate events*	general	needs to be assessed	needs to be assessed	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Transferability*	no	yes	yes	no	no	no	no	no	no
Sustainability*	The model is tailored to insured losses at residential buildings, but depending on data availability for model calibration, the model could be extended in terms of included losses (e.g. forestry losses, etc.)	Transferability is easily feasible but outside the scope of this project. Sen2Cube is a globally consistent risk assessment platform for storms, tropical cyclones, floods etc.	semantic queries in cube can be transferred	yes, but just spatial and temporal aggregation, flow resolution is not possible	yes, but just spatial and temporal aggregation, flow resolution is not possible	yes, but just spatial and temporal aggregation, flow resolution is not possible	yes, but just spatial and temporal aggregation, flow resolution is not possible	yes, but just spatial and temporal aggregation, flow resolution is not possible	yes, but just spatial and temporal aggregation, flow resolution is not possible
Technical interface to CBRS*	T.D.	T.D.	OGC conform servers (WMS)	T.D.	T.D.	T.D.	T.D.	T.D.	T.D.
Terms of Use*	T.D.	T.D.	T.D.	T.D.	T.D.	T.D.	T.D.	T.D.	T.D.

Im Annex 3 sind für ausgewählte Modelle/Tools Anwendungsszenarien als Folien aufbereitet und dargestellt.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass eine Reihe von Modellen und Services großes Potential haben, Datenlücken zu füllen, bzw. vorhandene Daten zu erweitern. Grundsätzlich ist der Gefahren-Kontext, bzw. auch die räumliche und temporale Auflösung sehr heterogen und es muss spezifisch bewertet werden, welches Modell/Service sinnvollerweise integriert werden kann.

Im Kontext von Sturm(-ereignissen) wird nachfolgend vertiefend eingegangen, wobei zwei Modelle (JR-Sturmschadenmodell, CLIMADA) genauer analysiert wurden.

Zur Validierung bzw. auch Ergänzung von Schadensereignissen ex-post bietet sich insbesondere der Demonstrator Sen2Cube.at ([www.sen2cube.at](http://www.sen2cube.at), Augustin et al., 2020) an, welcher

Veränderungsanalysen basierend auf aktuellen Sentinel-2-Erdbeobachtungsdaten in einem Web-basierten graphical user interface (GUI) erlaubt (Sudmanns et al., 2021). Auf Basis aller Sentinel-2 Daten für Österreich, die semantisch angereichert im Data Cube vorliegen, lassen sich für bestimmte AOIs sowohl wolkenfreie Daten finden und auch in einem integrierten Workflow auf Veränderungen hin analysieren. Dadurch ließen sich z.B. Schadensflächen durch Sturmereignisse, Massenbewegungen bzw. Überschwemmungsflächen (abhängig von der Wolkenbedeckung) validieren bzw. falls notwendig auch quantifizieren bzw. abgrenzen und deren weitere Entwicklung monitoren. Die räumliche Auflösung von 10x10m<sup>2</sup> je Pixel der Sentinel-2 Daten ist dabei der begrenzende Faktor für bestimmte Schadensereignisse. Der Service ist aktuell als Demonstrator eingerichtet und daher nicht operationell, kann aber im Prinzip über OGC-konforme Services eingebunden werden.

Eine Reihe von ZAMG-Daten und Services stellen sinnvolle Erweiterungen insbesondere im Kontext ‚Wetter‘ dar. Einerseits liegen historische Beobachtungsdaten als Flächenwerte im Datensatz SPARTACUS vor, welche insbesondere für Niederschlagsbezogene-Auswertungen von Relevanz sein können. Im Weiteren erlauben die INCA Daten (forecast/nowcast) einerseits eine Brücke zur Frühwarnung, andererseits eine mögliche Ergänzung für ex-post Analysen basierend auf Modellrechnungen. So können z.B. Zugbahnen von Gewitterzellen bzw. Starkniederschläge entsprechend nachverfolgt werden. Ergänzend sei hier auch noch der SNOWGRID Datensatz erwähnt, welcher eine wichtige Basis für hydrologische Modelle durch eine genauere Abschätzung der Schneedecke darstellt.

Zur Schadensanalyse von größeren Ereignissen sei insbesondere auf den Copernicus Emergency Management Service der Europäischen Kommission verwiesen, welcher im Fall des Falles durch die Mitgliedsstaaten bzw. autorisierte Nutzer angefordert werden kann. Die im konkreten Fall erstellten Produkte können so die Schadensanalyse ergänzen bzw. vertiefen und decken grundsätzlich ein breites Spektrum an Gefahren ab. Im Weiteren ist in diesem Kontext auch auf den Überschwemmungs-Service EFAS verwiesen, welcher neben einer Schadensbeurteilung Frühwarnungen ermöglicht. Dieser kann vorwiegend als Ergänzung gesehen werden, da die Auflösung im Verhältnis zu bestehenden Systemen in Österreich relativ groß ist. Eine Ergänzung in Bezug auf Risiko- und Verwundbarkeitsanalysen sind die Daten des Risk Data Hubs des JRC, welche jedoch ebenfalls für eine eher gesamteuropäische Perspektive ausgelegt sind.

### 3. VERGLEICH DER SCHADENMODELLANALYSEN BEZÜGLICH STURMEREIGNISSEN

---

Zwei Sturmschadenmodelle wurden hinsichtlich ihrer Anwendungs- und Einsatzmöglichkeiten für CESARE im Rahmen des Projekts untersucht: das Sturmschadenmodell der ETH Zürich innerhalb der Plattform CLIMADA und das JR-Sturmschadenmodell von JOANNEUM RESEARCH – LIFE. Bevor einige Anwendungs- und Einsatzgebiete beispielhaft illustriert werden, erfolgt eine Kurzbeschreibung der beiden Impaktmodelle.

## KURZBESCHREIBUNG DER VERWENDETEN STURMSCHADENMODELLE

### CLIMADA

#### *CLIMADA – ein Überblick*

CLIMADA ist eine Software-Plattform für Impaktmodelle. Es beinhaltet probabilistische Impaktmodelle für Naturkatastrophen und errechnet zusätzlich die abgewendeten Schäden (Nutzen) von verschiedenen Adaptationsmaßnahmen (von grauer zu grüner Infrastruktur, Verhaltensänderungen, etc.). CLIMADA wird in der Gruppe Wetter- und Klimarisiken an der ETH Zürich und in internationaler Zusammenarbeit entwickelt und ständig erweitert. CLIMADA ist open-source mit einer öffentlichen Lizenz verfügbar (<https://wcr.ethz.ch/research/climada.html>). Die Funktionalitäten sind in wissenschaftlichen Publikationen dokumentiert (Aznar-Siguan and Bresch, 2019; Bresch und Aznar-Siguan, 2021) und in Manuals und Tutorials anhand von Anwendungsbeispielen beschrieben.

CLIMADA modelliert Risiko als eine Kombination aus Gefährdung (hazard), Exposition (exposure) und Verletzlichkeit (vulnerability). Das Risiko ist eine Kombination aus Wahrscheinlichkeit und Schweregrad eines Impakts. Die Gefährdung enthält die Information zu der Wahrscheinlichkeit sowie zur Intensität. Der Schweregrad wird als Kombination der Gefährdungsintensität, der Exposition und der Verletzlichkeit räumlich aufgelöst errechnet (Abbildung 1). Die Auflösung der Exposition bestimmt die räumliche Auflösung der Risikorechnung. Als Exposition können einzelne Risiken (zum Beispiel einzelne Gebäude) oder aggregierte Werte auf einem geographischen Grid verwendet werden. Für jedes Element wird für jedes einzelne Event die lokale Gefährdungsintensität mithilfe der Verletzlichkeit mit dem Expositionswert verrechnet um die Auswirkung in absoluter Größe zu erhalten. Diese errechneten Auswirkungen für jedes Event ergeben zusammengenommen das geographisch-aufgelöste und event-basierte Risiko. Die genaue mathematische Ausformulierung des Modells ist in Aznar-Siguan und Bresch (2019) beschrieben. Das errechnete Risiko kann anschließend mit verschiedenen Metriken zusammengefasst werden, wie der mittlere jährlich zu erwartende Schaden oder der akkumulierte Schaden für Events mit einer bestimmten Wiederkehrperiode. Ebenfalls kann das Risiko graphisch illustriert werden.

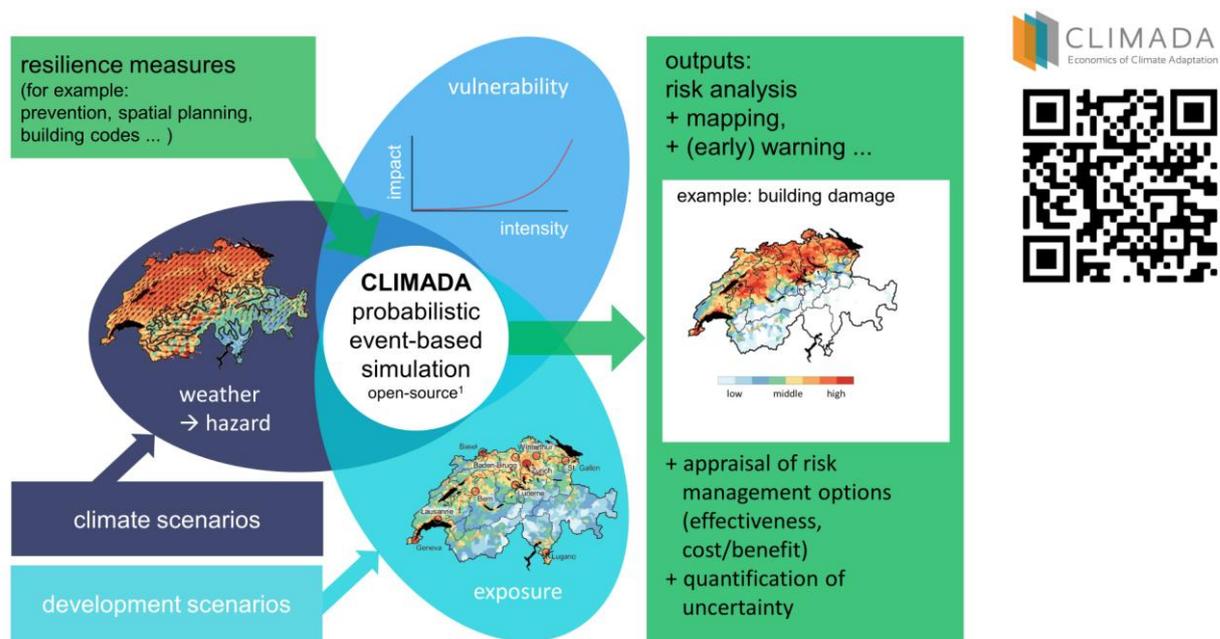


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Impactmodells CLIMADA.

CLIMADA erlaubt dem Nutzer ebenfalls Adaptionsmaßnahmen abzubilden, wie graue und grüne Infrastruktur, Verhaltensänderungen oder Risiko-Transfer. Mithilfe von Klimaszenarien und ökonomischen Entwicklungsszenarien können die Kosten und der erbrachte Nutzen (verhinderte Schäden) der Maßnahmen berechnet werden. Diese Kosten-Nutzen-Rechnung kann als Priorisierungsmöglichkeit oder Entscheidungsgrundlage für eine Beurteilung der Adaptionsmaßnahmen genutzt werden und mit anderen Faktoren in einem multidimensionalen Entscheidungsverfahren integriert werden. Die Berücksichtigung von verschiedenen Szenarien erlaubt eine robuste Entscheidungsfindung (Bresch und Aznar-Siguan, 2021).

Um den Einstieg in CLIMADA für Nutzer zu erleichtern, werden für Gefährdungen, Exposition und Verletzlichkeit Demonstratoren zur Verfügung gestellt. Die Demonstratoren sind open-source und open-data und häufig direkt global anwendbar. Das Modell unterstützt jedoch vollumfänglich das «Bring your own data»-Prinzip. Damit kann für Gefährdung, Exposition und Verletzlichkeit die beste auch lokale Information verwendet werden, welche der Nutzer selber mitbringt. Der modulare Aufbau von CLIMADA erlaubt auch den Austausch einzelner Teile zum Beispiel der Gefährdungsinformation, während für andere Elemente die bereits vorhandenen Informationen verwendet werden. Für nutzerspezifische Daten gibt es viele Integrationsmöglichkeiten von eigenen python-scripts zur Erzeugung der Gefährdung bis zum vollautomatischen Einlesen von Expositions- und Verletzlichkeitsdaten über Excel-Dateien.

Abbildung 2 präsentiert die Gefahrentypen, die bereits als Demonstratoren im Framework implementiert sind:

## CLIMADA coverage – “as is”



Peril	Coverage	Resolution	Ready by <sup>6</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tropical cyclones and associated storm surge</li> <li>▪ European winter storms</li> <li>▪ River flood (plus: interface to existing hazard models)</li> <li>▪ Drought</li> <li>▪ Wildfire</li> <li>▪ Landslide</li> <li>▪ Earthquake and Volcano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>global</li> <li>all Europe<sup>2</sup></li> <li>global, <i>under embargo</i><sup>1</sup></li> <li>global, <i>under embargo</i><sup>5</sup></li> <li>global, <i>under embargo</i><sup>4</sup></li> <li>global, <i>in development</i></li> <li>global, <i>in MATLAB still</i><sup>3</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 x 4 and 1 x 1 km</li> <li>4 x 4 km</li> <li>4 x 4 km</li> <li>50 x 50 km</li> <li>10 x 10 and 1 x 1 km</li> <li>1 x 1 km</li> <li>10 x 10 and 1 x 1 km</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>now</li> <li>now</li> <li>spring 2021</li> <li>spring 2021</li> <li>spring 2021</li> <li>2021</li> <li>now</li> </ul>
Asset base (kind of market portfolio)	global	10 x 10 and 1 x 1 km	now

Note on climate change: implemented by altering probabilistic hazard event sets (based on SREX or...)

<sup>1</sup> paper by Inga Sauer (at PIK) accepted, hence soon released. Currently ismip global flood, 30 years x 46 models, for higher resolution, interface to 3rd party hazard models exists (e.g. tested with Witteveen&Boos)  
<sup>2</sup> based on Copernicus WISC  
<sup>3</sup> hazard sets can readily be used in Python for impact calculation, but their generation still happens in MATLAB  
<sup>4</sup> wildfire spreading and probabilistic engine words, ready to be used, but land characteristics not taken care of properly yet, embargoed until submitted <https://wcr.ethz.ch/research/climada.html><sup>7</sup>  
<sup>5</sup> part of the innosuisse collaboration with CarbonDelta@MSCI, embargoed until published (using ismip 3a/b data)  
<sup>6</sup> indicative, 'under embargo' means readily available upon request for joint research use. Once a paper is accepted, we release for free unrestricted use

Abbildung 2: Eine Auflistung der Gefährdungstypen, welche als Demonstratoren in CLIMADA implementiert sind.

### Modellierung von Gebäudeschäden durch Stürme mithilfe von CLIMADA

Die Modellierung von Stürmen in CLIMADA wurde in zwei kürzlich erarbeiteten Studien anhand von Gebäudeschäden in der Schweiz implementiert. Da diese zwei Studien die Grundlage für die Anwendungsbeispiele darstellen, werden sie in den nächsten zwei Paragraphen referenziert und kurz vorgestellt.

CLIMADA wurde benutzt, um das Risiko von Gebäudeschäden durch Stürme im Kanton Zürich in der Schweiz zu bestimmen. Die spezifische Exposition und Verletzlichkeit vom Kanton Zürich konnte mit einem langen klimatologischen Datensatz zu Sturmgeschwindigkeiten und einer probabilistischen Erweiterung kombiniert werden, um das spezifische Risiko für den Kanton Zürich besser abzuschätzen. Damit war es möglich die Risikobeurteilung aufgrund von Versicherungsschäden besser einzuordnen und für seltene Ereignisse entscheidend zu erweitern (Welker et al., 2021).

Um kurz vor einem Ereignis die zu erwarteten Schäden besser abzuschätzen, kann CLIMADA mithilfe von Wettervorhersagen eine Vorhersage der Gebäudeschäden modellieren. Es war möglich, die Größenordnung einzelner Winterstürme zwei Tage im Voraus abzuschätzen, obwohl auch Events nicht oder falsch vorhergesagt wurden. Für andere Sturmereignisse wie Föhnstürme oder Gewitter gibt es eine noch größere Anzahl an nicht oder falsch vorhergesagten Events. Die Unsicherheit aus der Wettervorhersage ist beträchtlich und die errechneten Zahlen können nur unter der Berücksichtigung dieser Unsicherheit sinnvoll verwendet werden (Röösli et al., submitted).

### Aufbau des Modells im Rahmen von CESARE

Im Rahmen von CESARE wurde das Modell zur Errechnung von Gebäudeschäden durch Stürme auf Österreich angewendet. Im Folgenden werden die verwendeten Elemente Gefährdung, Exposition und Verletzlichkeit vorgestellt. Im Kontext von CESARE kann CLIMADA verschiedene

Zusatzinformationen bereitstellen. Der Aufbau des CLIMADA Modells orientiert sich anhand der nachgefragten Zusatzinformation. Gefährdung, Exposition und Verletzlichkeit können modular ausgewechselt werden und neue Modelle aufgrund von Impaktdaten oder Expertenmeinungen kalibriert werden. Aufgezeigt werden die Möglichkeiten anhand von Gebäudeschäden durch Stürme, welche mithilfe von anwendungsspezifischen Gefährdungs-Datensätzen modelliert werden können. Die Exposition und die Verletzlichkeit wurden in den Anwendungsbeispielen konstant gehalten.

### *Gefährdung*

Die Gefährdung beschreibt die Wahrscheinlichkeit und die Intensität von Sturmevents. Die Intensität eines Sturmes wird durch die lokale maximale Böengeschwindigkeit pro Event modelliert. Für die zwei verschiedenen Anwendungsbeispiele werden verschiedene Gefährdungsdatensätze verwendet, welche jeweils im entsprechenden Abschnitt vorgestellt werden. CLIMADA kann auch die Gefährdungsinformation aus dem INCA-Modell der ZAMG einlesen, welche im dritten Anwendungsbeispiel anhand des JR-Sturmschadenmodells beschrieben wird.

### *Exposition*

Für die Verteilung der Gebäudewerte in Österreich wird eine weitere Demonstrator-Funktionalität aus CLIMADA verwendet (Abbildung 3). Die LitPop-Methode schätzt die Verteilung der Gebäudewerte auf einem geographischen Gitter grob ab, aufgrund der Verteilung von Bevölkerung und der Intensität von Nachlichtintensitäten durch Satellitenbilder. Die LitPop-Methode und die enthaltenen Unsicherheiten im Expositionsdatensatz werden in Eberenz et al. (2020) besprochen.

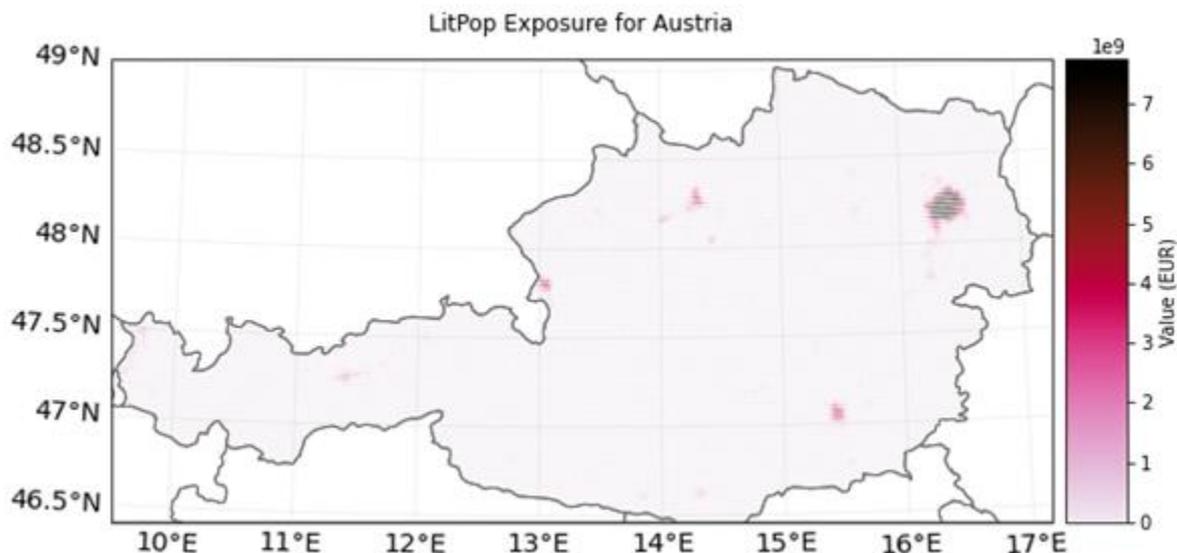


Abbildung 3: Verteilung der Gebäudewerte in Österreich auf einem Gitter mit ungefähr 1km geographischer Auflösung. Die dichtbesiedelten Gebiete, allen voran die Stadt Wien, sind klar als Gebiete mit hohen Gebäudewerten ersichtlich.

### *Verletzlichkeit*

In CLIMADA wird die Verletzlichkeit über Verletzlichkeitskurven abgebildet. Die Intensität der Gefährdung wird mit einem proportionalem Impact assoziiert. In einem einfachen Fall kann die Kurve eine Stufenfunktion sein, welche nur das überschreiten eines Schwellwerts abbildet. Für die Anwendungsbeispiele wird eine Verletzlichkeitskurve spezifisch für Gebäudeschäden verwendet

(Abbildung 4). Die Kurve wurde mit Versicherungsschäden kalibriert und zuerst in Schwierz et al. (2010) publiziert. Welker et al. (2021) haben die Kurve neu kalibriert für Versicherungsschäden in der Schweiz in Kombination mit dem LitPop-Expositions-Datensatz.

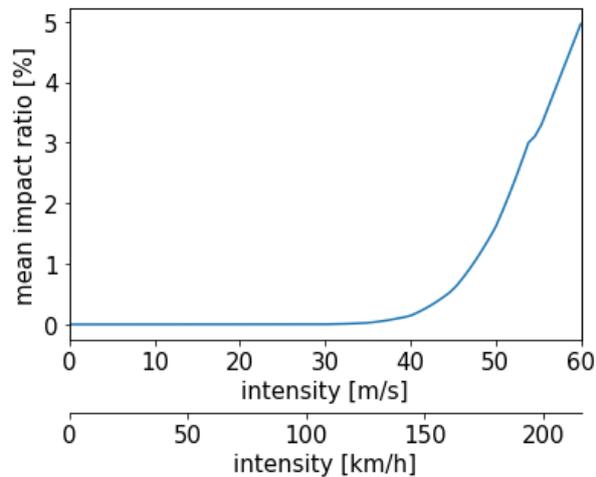
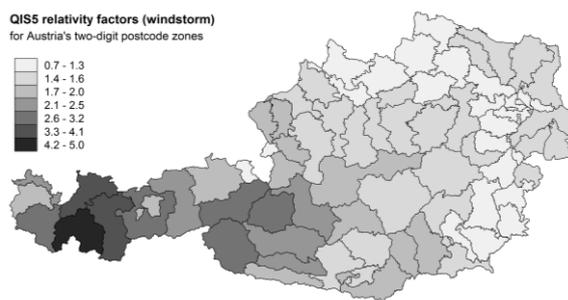


Abbildung 4: Welker et al. (2021). Die Gefährdungsintensität (die Böengeschwindigkeit in m/s) auf der horizontalen Achse wird mit einem proportionalem Impact auf der vertikalen Achse assoziiert. Abbildung aus Rösli et al. (submitted).

### JR-Sturmschadenmodell

Beim JR-Sturmschadenmodell handelt es sich um ein stochastisches Modell zur Simulation von Schäden an Wohngebäuden durch Sturmereignisse in Österreich. Das Modell wurde ursprünglich zur Bewertung des Risikos und der Versicherbarkeit von Sturmschäden in Österreich erstellt (siehe Pretenthaler et al., 2012). Es ging vor allem darum, auf Basis tatsächlicher Schadendaten die Solvency II (QIS5) Gewichtungsfaktoren für Sturmversicherung (Stand 2010) nachzuprüfen, da die offiziellen Faktoren mit den Erfahrungen der Versicherungen nicht übereinstimmten (siehe Abbildung 5).

#### a) QIS5-Gewichtungsfaktoren für Sturmversicherung



#### b) Empirischer Schadegrad an Wohngebäuden

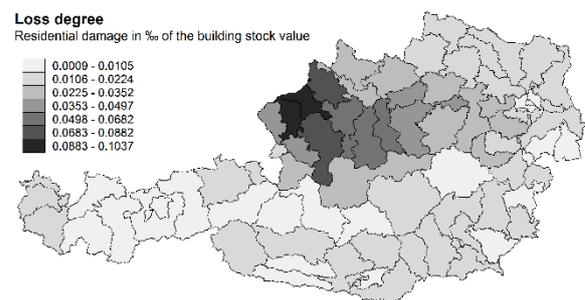


Abbildung 5: Gegenüberstellung der (a) QIS5-Gewichtungsfaktoren für Sturmversicherung (Stand 2010) und (b) des empirischen Schadengrads an Wohngebäuden durch ein durchschnittliches Sturmereignis zwischen 1998 und 2009 auf PLZ-2-Steller-Ebene (Quelle: Pretenthaler et al., 2012).

Ein Grund für die in Abbildung 5 veranschaulichte Diskrepanz zwischen den ursprünglichen Solvency II (QIS5) Gewichtungsfaktoren und den tatsächlichen Erfahrungen der Versicherungswirtschaft wurde

darin vermutet, dass für die ursprünglichen Gewichtungsfaktoren je CRESTA-Zone (PLZ-2-Steller) möglicherweise jeweils die Windgeschwindigkeiten in der gesamten Zone berücksichtigt worden waren. Eine solche simplifizierte Interpretation von Windgeschwindigkeiten kann insbesondere in stark hochalpin geprägten Regionen wie Tirol zu Problemen führen, da dort die höchsten Windgeschwindigkeiten im unbewohnten Gebirge auftreten und die Schadwirkung somit deutlich überschätzt wird. Die Idee hinter dem JR-Sturmschadenmodell war daher, nur die Windgeschwindigkeiten in bewohnten Gebieten zu berücksichtigen und diese mit den tatsächlichen Schadenerfahrungen der Versicherungen zu verknüpfen. Die folgenden Ausführungen zum JR-Sturmschadenmodell starten mit einer kurzen Beschreibung des ursprünglichen Modells, gehen dann auf die im Rahmen von CESARE durchgeführten Erweiterungen ein und schließen mit einer kurzen qualitativen Evaluierung des Modells in Bezug auf mögliche Anwendungsbereiche.

### *Das ursprüngliche Modell*

Basierend auf der Kernidee, die tatsächlichen Schadenerfahrungen der Versicherungen mit den während eines Sturmereignisses in bewohnten Gebieten beobachteten Windgeschwindigkeiten zu verknüpfen, wurden folgende Datensätze als Grundlage für das ursprüngliche JR-Sturmschadenmodell und dessen Kalibrierung herangezogen:

1. Inflations- und marktanteilsbereinigte Schadendaten vom Versicherungsverband Österreich (VVÖ) zu versicherten Sturmschäden an Wohngebäuden exkl. Inhalt (entspricht rund 80 % der vom VVÖ zur Verfügung gestellten versicherten Gesamtschäden<sup>1</sup>) auf PLZ-2-Steller-Ebene für Sturmereignisse mit mehr als 3 Mio. € versichertem Gesamtschaden zwischen 1998 und 2009
2. Böen-Windgeschwindigkeiten für Sturmereignisse zwischen 1974 und 2009 auf einem 1 km x 1 km Raster (ZAMG)
3. Rasterdaten der Statistik Austria zum Gebäudebestand und daraus abgeleitet eine räumlich hochaufgelöste (250x250m<sup>2</sup>) und inflationsbereinigte jährliche Zeitreihe zu geschätzten Gebäudewerten für den Zeitraum 1966 bis 2010 zur Normierung der Schadendaten und zur Erstellung eines Windindex aus gebäudewertgewichteten maximalen Böen-Windgeschwindigkeiten auf PLZ-2-Steller-Ebene

Für die Modellierung wurden die Schadendaten mithilfe der Zeitreihe zum Gebäudewertbestand normiert. Der daraus resultierende Schaden in Promille des Gebäudewertes je PLZ-2-Steller diente als Grundlage für die Kalibrierung des Sturmschadenmodells. Des Weiteren wurde die auf Rasterebene (250x250m<sup>2</sup>) generierte Zeitreihe zu den geschätzten Gebäudewerten mit den maximalen Böen-Windgeschwindigkeiten (1x1km<sup>2</sup>) verschnitten, um je Sturmereignis einen gebäudewertgewichteten Windindex auf PLZ-2-Steller-Ebene zu generieren. Ein derart erstellter Windindex vermag eine repräsentativere Beschreibung der Windgeschwindigkeit im Sinne ihres Schadenpotentials abzugeben als die reine Windgeschwindigkeit.

Das JR-Sturmschadenmodell wurde als hierarchisches Bayes (top-down) Modell für den Logarithmus des Schadens in einer PLZ-2-Steller-Region implementiert. Der Erwartungswert des logarithmierten Schadens  $X$  von Sturm  $i$  in Region  $j$  ermittelt sich dabei wie folgt:

---

<sup>1</sup> Unter dem Begriff „Gesamtschaden“ sind in diesem Fall versicherte Sturmschäden an Wohngebäuden und Industriegebäuden sowie deren Inhalte, Schäden an Maschinen und Schäden an Transportgütern subsummiert.

$$E[X_{i,j}] = sW_{i,j} + I_i^S + I_j^G$$

wobei  $W$  den Windindex (gebäudewertgewichtete maximale Böen-Windgeschwindigkeit) von Sturm  $i$  in Region  $j$  darstellt und  $I_i^S$  sowie  $I_j^G$  jeweils einen sturm- bzw. gebietspezifischen Faktor darstellen. Residuen werden symmetrisch und mit Tail einer Gammaverteilung modelliert. Zur Simulation der Sturmschäden wird die Monte-Carlo-Methode herangezogen wobei der sturmspezifische Faktor  $I_i^S$  als normalverteilt angenommen wird. Ein weiteres, zusätzliches Modell gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass in einer Region für einen gegebenen Windindex kein Schaden auftritt. Dieses zusätzliche Modell basiert auf einer Ausgleichsgerade, die auf die empirische Wahrscheinlichkeit des Nicht-Schadeneintritts pro 10 km/h-Intervall des Windindexes gefittet wurde.

Für die Kalibrierung des JR-Sturmschadenmodells wurden nur Winterstürme herangezogen, da die verfügbaren Schadendaten im Falle von Sommerstürmen nicht hinreichend genau zwischen tatsächlichen Sturmschäden und Schäden aufgrund von Überflutungen unterscheiden konnten. Die Kalibrierung des Modells erfolgte mithilfe der Markov-Chain-Monte-Carlo Methode (MCMC), wobei die Parameter des Modells verwendet wurden, die die Likelihood-Funktion maximieren. Für weitere Details zur originalen Version des JR- Sturmschadenmodells siehe Prettenthaler et al. (2012).

### *Erweiterungen im Rahmen von CESARE*

#### Aktualisierung der Datengrundlage

Im Zuge von CESARE wurde zunächst die Datengrundlage aktualisiert, um mithilfe des JR-Sturmschadenmodells versicherte Sturmschäden an Wohngebäuden auch für Stürme nach 2009 simulieren zu können. Dies umfasst insbesondere die Fortschreibung der räumlichen Zeitreihe zu den Gebäudewerten, die bis 2018 verlängert wurde, sowie die Erstellung von Windindexdaten je Sturmereignis zwischen 2010 und 2018.

Für die Generierung der Windindexdaten wurden vonseiten der ZAMG Daten aus dem Analyse- und Nowcastingsystem INCA zu den Böen-Windgeschwindigkeiten während Sturmereignissen im Zeitraum von 2008 bis 2018 auf einem 1x1km<sup>2</sup> Raster zur Verfügung gestellt. Die Identifizierung der Sturmereignisse erfolgte dabei auf Basis der VIOLA-Unwetterdatenbank der ZAMG. Für die Erstellung des Windindexes wurde im Rahmen von CESARE diesmal nicht auf Gebäuderasterdaten der Statistik Austria zurückgegriffen, sondern auf die frei verfügbaren Daten der European Settlement Map (ESM 2012 – Release 2017). Die Settlement Map liegt in einer Auflösung von 10x10m<sup>2</sup> vor, wobei jede Rasterzelle vier unterschiedliche Ausprägungen annehmen kann: „no data“, „land“, „non-residential built-up area“ und „residential built-up area“. Jeder Rasterzelle der INCA-Daten wurde mittels der Settlement Map ein Gewicht zugeordnet. Dieses Gewicht spiegelt die Anzahl der Settlement-Map-Zellen der Kategorie „residential built-up area“ innerhalb einer INCA-Zelle wider und wurde verwendet, um die maximalen Böen-Windgeschwindigkeiten während eines Sturmereignisses von der 1x1km<sup>2</sup> Rasterebene auf die Gemeinde- sowie die PLZ-2-Steller-Ebene „gebäude(wert)gewichtete“ hochzurechnen.

#### Modelländerungen

Neben der Aktualisierung der Datenbasis wurden im Zuge der Neu-Implementierung zwei Änderungen am Modell vorgenommen:

- 1.) Zusätzlich zum Windindex können nun weitere erklärende Kenngrößen eines Sturmereignisses (Ko-Variablen) berücksichtigt werden, d.h. der Term  $sW_{i,j}$  kann durch den Term  $\sum_{k=1}^n s_k W_{i,j}^k$  ersetzt werden.
- 2.) Die Wahrscheinlichkeit, dass in einer Region – abhängig vom Windindex – kein Schaden eintritt, wird nun mittels eines generalisierten linearen Modells (GLM) mit Binomialverteilung und Logitfunktion als Linkfunktion modelliert.

Da keine aktualisierten Daten zu versicherten Sturmschäden an Wohngebäuden auf PLZ-2-Steller-Ebene vorliegen<sup>2</sup>, wurde das Modell im Rahmen von CESARE wieder mit den Schadendaten des ursprünglichen Modells kalibriert, wobei abermals nur Winterstürme für die Modellkalibrierung herangezogen wurden. Basierend auf der oben genannten Modellerweiterung, die die Berücksichtigung weiterer Ko-Variablen erlaubt, wurde allerdings versucht, zusätzliche erklärende Variablen für die Simulation der Sturmschäden miteinzubeziehen. Hierzu wurde zunächst ein automatisierter Algorithmus verwendet, um das beste Modell aus einer Reihe von Kontrollvariablen zu finden. Dazu wurde auf ein lineares Modell für den Schaden zurückgegriffen und auf das Akaike-Informationskriterium (AIC) zur Modellauswahl. Folgende Auswahlmöglichkeiten an Ko-Variablen wurden berücksichtigt:

- Postleitzahl (2-Steller)
- Sturmereignis als kategoriale Variable
- Bundesland
- Maximale Windgeschwindigkeit in der Region
- Maximale Windgeschwindigkeit in der Region über bebautem Wohngebiet
- Anteil der Windgeschwindigkeit in der Region über bebautem Wohngebiet größer als 15, 20, ..., 200 km/h
- Anteil der Windgeschwindigkeit in der Region über bebautem Wohngebiet im Intervall 20-30, 30-40, ..., 140-150 bzw. 20-40, 40-60, ..., 140-160 km/h
- Dauer des Sturmereignisses in Tagen
- Monat des Sturmereignisses
- Gebäudewert der Region
- $(Windindex-x)^+$  mit  $x = 10, 15, \dots, 140$  km/h

Die automatische Auswahl resultierte in fünf für das lineare Modell optimale Variablen: Postleitzahl, Sturmereignis als kategoriale Variable,  $(Windindex-12,5)^+$ , maximale Windgeschwindigkeit in der Region über bebautem Wohngebiet und der Anteil der Windgeschwindigkeit im Intervall 60-70 km/h. Basierend auf dieser automatischen Auswahl wurden insgesamt vier unterschiedliche Varianten des im vorigen Kapitel vorgestellten JR-Sturmschadenmodells mittels Markov-Chain-Monte-Carlo und Maximum Likelihood (MCMC/ML) geschätzt, wobei sich die vier Varianten wie folgt hinsichtlich der berücksichtigten Variablen unterscheiden:

- Orig: Das originale Modell mit dem Windindex als erklärende Variable
- Opt1: Ein reduziertes „optimales“ Modell mit  $(Windindex-12,5)^+$  als erklärende Variable

---

<sup>2</sup> Bei den Schadendaten, die für das Originalmodell zur Kalibrierung verwendet wurden, handelte es sich um eine einmalige Sondererhebung des VVÖ. Für jüngere Zeiträume liegen Daten zu versicherten Sturmschäden auf Jahres- und Bundeslandebene vor, was für die Kalibrierung des JR-Sturmschadenmodells allerdings zu grob ist.

- Opt2: Ein reduziertes „optimales“ Modell mit  $(Windindex-12,5)^+$  und der maximalen Windgeschwindigkeit in der Region über bebautem Wohngebiet als erklärende Variablen
- Opt3: Das vollständige „optimale“ Modell

Für diese vier Modelle wurden neben den AIC-Werten auch die Akaike-Gewichte berechnet:

$$w_i = \frac{\exp\left(\frac{-\Delta_i}{2}\right)}{\sum_{r=1}^R \exp\left(\frac{-\Delta_r}{2}\right)}$$

mit  $\Delta_i = AIC_i - AIC_{min}$ . Die Akaike-Gewichte geben die Wahrscheinlichkeit an, mit der das jeweilige Modell unter allen betrachteten Modellen das Beste für die vorliegenden Daten ist. Die Akaike-Gewichte für die vier getesteten Modelle sind Tabelle 1 zu entnehmen. Demzufolge stellt „Opt2“ die beste Modellvariante dar, wobei aber keine der Varianten komplett ausgeschlossen werden muss, nachdem keines der Gewichte unter 18 % liegt.

Auch wenn die originale Modellvariante gemäß AIC am schlechtesten abschneidet (siehe Tabelle 1), wurde für die weiteren Berechnungen im Rahmen von CESARE wieder auf diese zurückgegriffen. Zum einen ist der Unterschied in den AIC-Werten zwischen den Modellvarianten relativ gering. Zum anderen ist der Großteil der Verbesserung auf die Hinzunahme der maximalen Windgeschwindigkeit über bebautem Wohngebiet zurückzuführen. Dieser Parameter ist allerdings problematisch, da sich die Auflösung des Windmodells zwischen der Winddatenlieferung für das ursprüngliche JR-Sturmschadenmodell und der Winddatenlieferung im Rahmen von CESARE erhöht hat. Wie sich anhand der Sturmereignisse zeigt, die in der kurzen Spanne der Überlappung der beiden Datensätze stattgefunden haben (2008-2009), kann diese höhere Modellauflösung in manchen Regionen eine deutliche Auswirkung auf die maximale Windgeschwindigkeit über bebautem Wohngebiet haben, was wiederum zu unrealistischen Schadensschätzungen führen kann, wenn das Sturmschadenmodell auf Basis des älteren Winddatensatzes kalibriert und dann auf den neuen Winddatensatz angewendet wird<sup>3</sup>. Bleibt man hinsichtlich der erklärenden Variablen hingegen bei der originalen Modellvariante, zeigt sich für die Sturmereignisse der Überlappungsperiode 2008-2009, dass die Abweichungen in den simulierten Schäden bei Gegenüberstellung der beiden Winddatensätze in der Regel gering sind.

Tabelle 1: Loglikelihoods, AIC-Werte und Akaike-Gewichte der getesteten Modelle

Modell	Orig	Opt1	Opt2	Opt3
LogLik	-6,3	-6,3	-4,5	-4,1
AIC	198,6	198,5	197,0	198,3
Akaike-Gewichte	18,3%	19,1%	40,8%	21,9%

<sup>3</sup> Wie erwähnt stehen keine aktualisierten Daten zu den versicherten Sturmschäden in hinreichender räumlicher und zeitlicher Auflösung für die Neukalibrierung zur Verfügung, weshalb wieder die Winterstürme der Periode 1998 bis 2009, und damit auch der ältere Winddatensatz, zur Modellkalibrierung herangezogen werden.

### Anwendung auf Gemeindeebene

Da die PLZ-2-Steller-Ebene für CESARE nur bedingt relevant ist, betrifft die letzte Erweiterung die Anwendung des JR-Sturmschadenmodells auf die Gemeindeebene. Versucht man, das auf Basis von PLZ-2-Steller-Schäden kalibrierte Modell direkt mit Windindexdaten auf Gemeindeebene anzutreiben, ergeben sich zwei Herausforderungen: 1.) Gemeinden sind wesentlich kleinere administrative Einheiten als PLZ-2-Steller. Es ist daher davon auszugehen, dass der Windindex stärker variiert und extremere Werte annimmt, was zu höheren Schadensschätzungen führen dürfte. 2.) Das JR-Sturmschadenmodell ist für den Logarithmus der Schäden linear, wobei die Schäden in Promille der Gebäudewerte, also in Form des Schadensgrades, gemessen werden. Der zu erwartende Schaden ist somit im Normalfall kleiner als 1 bzw. der Logarithmus kleiner als 0. Da die Exponentialfunktion für diesen Bereich superadditiv ist, wäre die Summe der Schäden der Gemeinden höher als die Schäden des gesamten Gebiets. Bezeichnet man mit  $D_r$  beziehungsweise  $d_i$  den Schadensgrad in einer PLZ-2-Steller-Region, dann gilt zunächst:

$$D_r = KS_r \exp(N_s * \sigma_I + \mu_I) \exp(sW_{s,r} + I_r^G) \exp(R_r)$$

Hierbei ist  $KS_r$  die Zufallsvariable (ZV), die angibt, ob ein Schaden eintritt oder nicht,  $N_s$  eine ZV, die den sturmspezifischen Schaden bezeichnet und normalverteilt ist und  $R_r$  eine ZV, die die Abweichung in der PLZ-2-Steller-Region bestimmt. Um die Komplexität des Modells klein zu halten, gehen wir davon aus, dass die ZV  $R_r$  für alle Gemeinden in einer PLZ-2-Steller-Region gleich ist. Sei nun  $\bar{D}_r = \exp(N|s * \sigma_I + \mu_I) \exp(sW_{s,r} + I_r^G)$  der Anteil des Schadens ohne die regionsspezifische Abweichung und ohne die ZV, die angibt, ob ein Schaden aufgetreten ist. Der Schadensgrad der PLZ-2-Steller-Region ergibt sich dann als gewichtete Summe der Schäden der Gemeinden dieser Region:

$$D_r = \sum_{i \in G_r} \frac{v_i}{V} d_i$$

wobei  $v_i$  bzw.  $V$  das Volumen (Gebäudewert) der einzelnen Gemeinden bzw. der PLZ-2-Steller-Region bezeichnet. Wenn man nun die für die PLZ-2-Steller-Region konstant angenommenen Teile herauszieht, ergibt sich die Gleichung

$$KS_r \exp(N_s * \sigma_I + \mu_I) \exp(S_r \Gamma_r) \bar{D}_r = KS_r \exp(N_s * \sigma_I + \mu_I) \exp(S_r \Gamma_r) \sum_{i \in G_r} \frac{v_i}{V} \bar{d}_i$$

oder

$$\bar{D}_r = \sum_{i \in G_r} \frac{v_i}{V} \bar{d}_i$$

Falls wir nun annehmen, dass  $\bar{d}_i$  proportional zu  $\exp(sW_{s,i} + I_r^G)$  ist, ergibt sich der Schaden der Gemeinden als

$$c \cdot KS_r \exp(N_s * \sigma_I + \mu_I) \exp(sW_{s,i} + I_r^G) \exp(S_r \Gamma_r)$$

mit<sup>4</sup>

$$c = \sum_{i \in G_r} \frac{v_i}{V} \exp(s(W_{s,i} - W_{s,r}))$$

### *Evaluierung des Modells*

Wir schließen die Kurzbeschreibung des JR-Sturmschadenmodells mit einer qualitativen Einschätzung, für welche Anwendungen das Modell herangezogen werden kann und wie gut es sich für welche Zwecke eignet.

Wie erwähnt, wurde das JR-Sturmschadenmodell zur Bewertung des Risikos und der Versicherbarkeit von Sturmschäden in Österreich sowie zur Evaluierung der Solvency II (QIS5) Gewichtungsfaktoren für Sturmversicherung erstellt. Besonderes Augenmerk wurde daher auf die Modellierung großer Sturmschäden – also die „Tails“ der Schadenverteilung – gelegt. Die räumliche Auflösung wurde analog zur Auflösung der Gewichtungsfaktoren (CRESTA-Zonen bzw. PLZ-2-Steller-Regionen) gewählt, auf die sich auch die Sondererhebung der versicherten Schäden der VVÖ bezieht.

Aufgrund des ursprünglichen Einsatzgebiets eignet sich das JR-Sturmschadenmodell insbesondere für Analysen zum Sturmschadenpotential in Gesamtösterreich sowie differenziert nach Regionen (Bundesländer, PLZ-2-Steller). Dies beinhaltet beispielsweise die Abschätzung der erwarteten Schäden bei einem 50-jährigen, 100-jährigen oder 200-jährigen Sturmereignis bzw. Sturmschadenjahr. Daneben kann das Modell auch herangezogen werden, um die Schäden (derzeit versicherte Schäden an Wohngebäuden) eines konkreten Sturmereignisses abzuschätzen. Hierbei sind jedoch folgende Einschränkungen zu beachten:

- Die Schadensimulationen unterliegen einer relativ großen Schwankungsbreite. Ein Grund hierfür liegt in der recht groben räumlichen Auflösung des Modells. Durch Unterschiede in den lokalen Eigenschaften (z. B. Topografie, Struktur des Gebäudebestandes) innerhalb einer PLZ-2-Steller-Region können auch bei gleichem Windindex deutliche Unterschiede im beobachteten Schaden auftreten. Die Schwankungsbreiten der Schadensimulationen würden sich allerdings mittels räumlich detaillierterer Schadendatenbasis zur Modellkalibrierung reduzieren lassen.
- Im Zuge von CESARE wurde das JR-Sturmschadenmodell dahingehend erweitert, dass simulierten Schäden von PLZ-2-Steller-Ebene mittels Windindex auf Gemeindeebene herunterskaliert werden können. Die resultierenden Schätzungen sind allerdings nur als sehr grobe Annäherung zu verstehen, da keine Daten zu versicherten Schäden auf Gemeindeebene für eine separate Modellkalibrierung zur Verfügung standen. Beim Herunterskalieren wird der Schaden in Gemeinden mit vergleichsweise hohem Windindex (verglichen zu anderen Gemeinden im selben PLZ-2-Steller-Gebiet) tendenziell überschätzt, während der Schaden in Gemeinden mit vergleichsweise niedrigem Windindex tendenziell unterschätzt wird.
- Für die Kalibrierung des JR-Sturmschadenmodells wurden, wie erwähnt, ausschließlich Winterstürme herangezogen. Schadensimulationen für Sommerstürme unterliegen daher größeren Unsicherheiten.

---

<sup>4</sup> Die Formel ist mathematisch zwar nicht ganz korrekt, da die Summe über Exponentialfunktionen darin vorkommt, sie wird vorläufig aber dennoch als Näherung herangezogen.

- Das JR-Sturmschadenmodell ist insbesondere auf die Simulierung großer Sturmschäden ausgerichtet. Für vergleichsweise kleine Sturmereignisse bzw. niedrige Windgeschwindigkeiten ergeben sich folglich größere Unsicherheiten in der Schadensimulation.

Insgesamt sind auf dem JR-Sturmschadenmodell basierende Schadensimulationen zu einzelnen Sturmereignissen daher als grobe Abschätzungen der Größenordnung zu verstehen.

### Modell-Zusammenschau

Wie aus den obigen Kurzbeschreibungen ersichtlich, funktionieren das CLIMADA- und das JR-Sturmschadenmodell grundsätzlich auf sehr ähnliche Art und Weise. Bei beiden Modellen handelt es sich um probabilistische Impaktmodelle, wobei bei den Ausgangsdaten zu Gefährdung (Wahrscheinlichkeit und Intensität von Sturmevents in Form lokaler maximaler Böen-Windgeschwindigkeiten) und Exposition (lokaler Gebäudebestand bzw.-wert) jeweils auf ähnlich hohe räumliche Auflösungen zurückgegriffen wird. Das JR-Sturmschadenmodell wurde mittels österreichischer Daten zu versicherten Gebäudeschäden kalibriert, bietet derzeit als höchste Auflösung jedoch lediglich die Gemeindeebene an. Die Verletzlichkeitskurven im CLIMADA-Sturmschadenmodul wurden hingegen mittels Schweizer Versicherungsschäden an Gebäuden kalibriert, dafür werden in höchster Auflösung Schäden auf 1 km<sup>2</sup> Rasterebene geliefert. Für beide Modelle gilt jedoch, dass die Unsicherheit mit dem räumlichen Detailgrad steigt.

Die Performance und Qualität von Top-Down Impaktmodellen wie das CLIMADA- und das JR-Sturmschadenmodell hängt stark von der Qualität der verfügbaren Kalibrierungs- und Eingangsdaten ab. Diese Art von Modellen kann ihre Vorteile und Qualitäten also insbesondere dann gut ausspielen, wenn möglichst viele sowie räumlich und zeitlich hinreichend hochaufgelöste Impakt- bzw. Schadendaten für die Kalibrierung der Modelle vorhanden sind. Neben der Möglichkeit, dass Impaktmodelle für CESARE Zusatzinformationen bereitstellen, können andererseits also auch Impaktmodelle von den Schadendaten einer standardisierten und vollständigen Ereignis- und Schadendatenbank profitieren. Falls die von CESARE angestrebte Datenbank regelmäßig und vollständig mit Schadendaten befüllt werden kann, werden sich die Vorteile von Schadendatenbanken und Impaktmodellen gegenseitig befruchten und eine umfassende Grundlage für Risikoabschätzungen und daraus folgende Entscheidungen liefern.

Wichtig ist neben der Verfügbarkeit der Schadendaten auch die gleichzeitige Verfügbarkeit der zugrundeliegenden Expositionsdaten. So werden beispielsweise für die Erstellung eines Modells zu Sturmschäden im Forstbereich neben detaillierten Schadendaten auch räumlich hinreichend hochaufgelöste Daten zum Wert der Waldbestände benötigt.

### MÖGLICHE ANWENDUNGSBEREICHE

Aufgrund ihrer ähnlichen Funktionsweise eignen sich das CLIMADA- und das JR-Sturmschadenmodell grundsätzlich für dieselben Anwendungsbereiche. Drei solcher möglichen Anwendungsbereiche mit potentielltem Nutzen für CESARE werden im Folgenden näher beschrieben, wobei zu Illustrationszwecken jeweils beispielhaft auf eines der beiden Modelle zurückgegriffen wird.

## Klimatologische Analysen (am Beispiel CLIMADA)

Die Modellierung der klimatologischen Gefährdung durch Winterstürme basiert auf einem möglichst umfangreichen, vereinheitlichten Datenpool historischer Sturmereignisse. Die Intensität und das räumliche Ausmaß der Stürme werden als sog. „Storm-Footprints“ aufbereitet, d.h. der Datensatz enthält für jedes Sturmereignis jeweils die lokal maximalen Böengeschwindigkeiten während der gesamten Dauer des Ereignisses.

Für die Illustration der Sturmschadenmodellierung im Rahmen von CLIMADA wurde auf den „WISC Storm Footprint“ – Datensatz (Maisey, Becker and Steptoe, 2017) zurückgegriffen. Er umfasst insgesamt 149 historische Sturmereignisse in Europa im Zeitraum 1940 bis 2016, die aufgrund von Versicherungsfällen und maximalen Windgeschwindigkeiten ausgewählt wurden. Für den Datensatz, der eine Gitterweite von 4.4 km aufweist, wurden grobmaschige Reanalysedaten (Quellen: ERA-Interim, ERA-20C und ERA5) mit Hilfe eines dynamischen Wettervorhersagemodells downgescaled.

Die Auswahl der Stürme im „WISC Storm Footprint“ – Datensatz bezieht sich hauptsächlich auf großskalige Stürme, die das Europäische Festland hauptsächlich beim Durchzug von Tiefdruckgebieten vom Atlantik her betreffen. Im Rahmen von CESARE wurde die Auswertung des WISC-Datensatzes auf Österreich beschränkt. Es zeigt sich, dass Österreich den Winterstürmen, die ihren Ursprung zumeist im Atlantik haben, durch seine geographische Lage weniger ausgesetzt ist als etliche Westeuropäische Länder, wenn auch Sturmereignisse wie z.B. „Vivian/Wiebke“ (1990), „Lothar“ (1999), „Kyrill“ (2007) und „Paula“ (2008) in Teilen des Bundesgebietes sehr hohe Schadenssummen verursacht haben. Ein großer Teil der Sturmereignisse in Österreich fällt jedoch deutlich kleinräumiger aus, und wird durch Föhnereignisse oder Gewitter verursacht. Derartige Ereignisse können nur durch sog. Konvektionserlaubende Modelle aufgelöst werden, die auf Skalen von ca. 1 km – 3 km rechnen. Wollte man diese kleinräumigen Ereignisse miteinbeziehen, müsste auf höher aufgelöste Datensätze, wie etwa den INCA-Analyse-Datensatz zurückgreifen.

Doch auch die Anwendungen mit dem WISC-Datensatz bieten einige Modellierungsmöglichkeiten, u.a. die Generierung probabilistischer Sturm-Datensätze. Diese enthalten für jedes reale Sturmereignis 29 in Bezug auf Intensität und geographischer Lage modifizierte Ereignisse, was die Interpretation der Bandbreite der erwarteten Schadenssummen zulässt und die Robustheit der Ergebnisse erhöht (Abbildung 6).

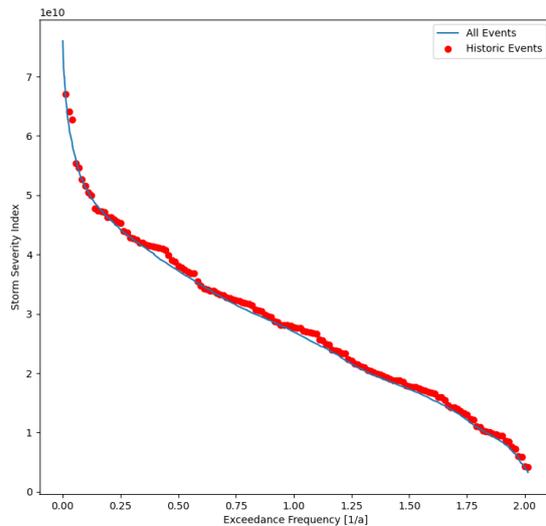


Abbildung 6: Jährlichkeit des Storm-Severity Index in Österreich für historische Sturmereignisse („Historic Events“) des WISC-Datensatzes und davon abgeleitete probabilistische Stürme („All Events“).

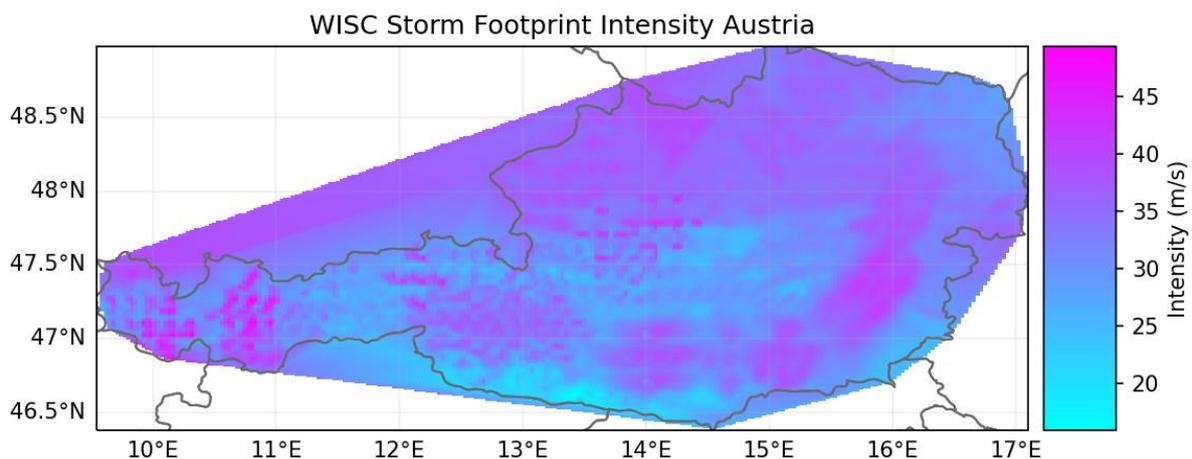


Abbildung 7: Räumliche Intensitätsverteilung der Winterstürme aus dem WISC-Datensatz.

Die CLIMADA-Impactberechnung über eine Vielzahl historischer Stürme liefert uns Schätzungen über die pro Jahr durchschnittlich zu erwartenden Schadenssummen (bezogen auf ein Referenzjahr, hier 2020) im untersuchten Gebiet. Zur Demonstration in CLIMADA wurde das Schadrisko für Niederösterreich und die Steiermark berechnet.

Durch den Fokus auf Gebäudeschäden (Gebäudewerte definiert durch Litpop Exposure) sind die dichter besiedelten Gebiete im Wiener Becken, im Bereich von Städten und entlang der Hauptverkehrsrouten deutlich hervorgehoben, was den zu erwartenden Impact betrifft (Abbildung 8).

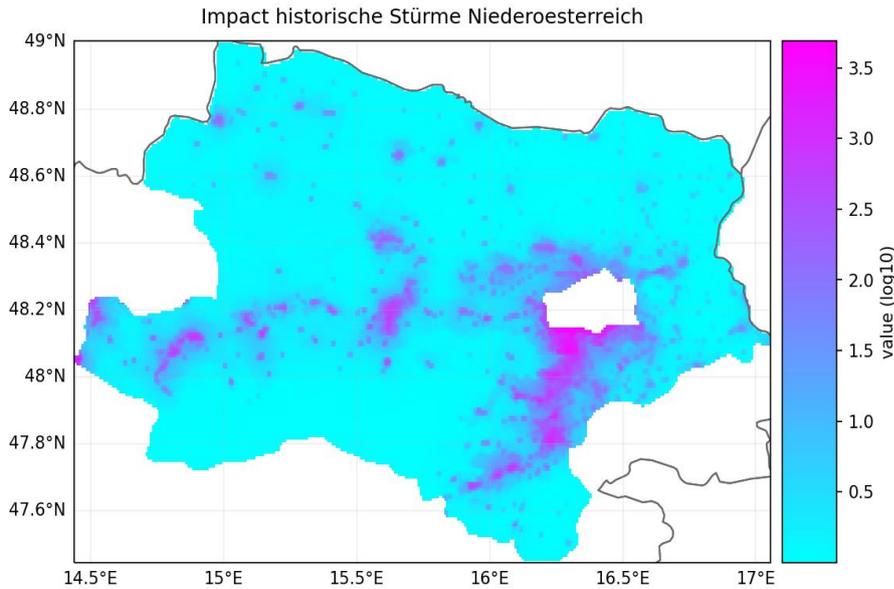


Abbildung 8: Räumliche Verteilung der geschätzten jährlichen Sturmschadenssummen an Gebäudeschäden für Niederösterreich in EUR.

Aussagen aus der klimatologischen Impakt-Modellierung finden ihre Anwendung in der Abschätzung durchschnittlicher jährlicher Gesamtschadenssummen in einem definierten Gebiet, bezogen auf ein Referenzjahr für die Exposition. Aus den historischen Winterstürmen des WISC-Datensatzes ergibt sich z.B. für das Land Steiermark eine durchschnittliche Schadenssumme von rund 128.000€, während sich die Schadenssumme für das Land Niederösterreich auf etwa 678.000€ belaufen. Diese Schätzwerte erscheinen gering im Vergleich zu weiteren wetterbedingten Schadrissen, zu beachten sind jedoch die beachtlichen Schwankungen von Jahr zu Jahr, die von keinen Schäden bis zu Schadenssummen von über 100 Mio. € reichen (Abbildung 9 und Abbildung 11). Die Auswertungen zeigen, dass sowohl in der Steiermark als auch in Niederösterreich mit Jahressummen an Gebäudeschäden infolge von Stürmen mit 100 Mio. € gerechnet werden muss, allerdings mit Unterschieden in der Jährlichkeit der Ereignisse (ca. 60 Jahre in der Steiermark vs. ca. 10 Jahre in Niederösterreich, Abbildung 10 und Abbildung 12).

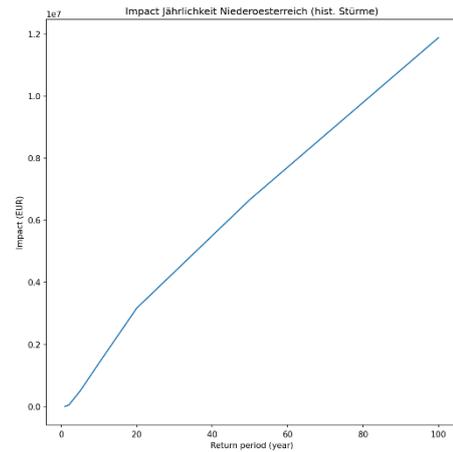
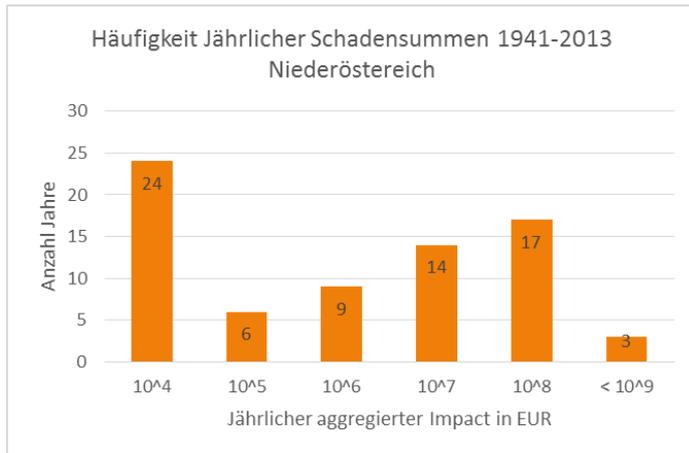


Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung des jährlichen aggregierten Impact auf Basis des WISC-Datensatzes für Niederösterreich

Abbildung 10: Geschätzte Jährlichkeit der Impacts für Niederösterreich

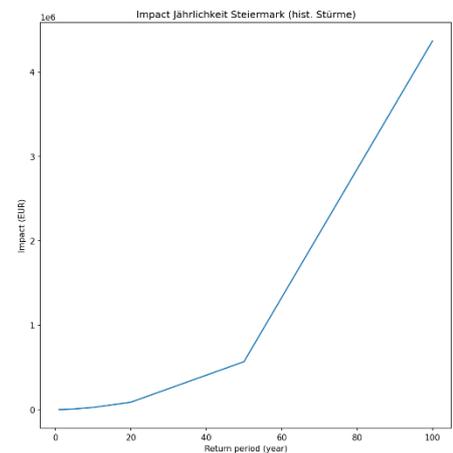
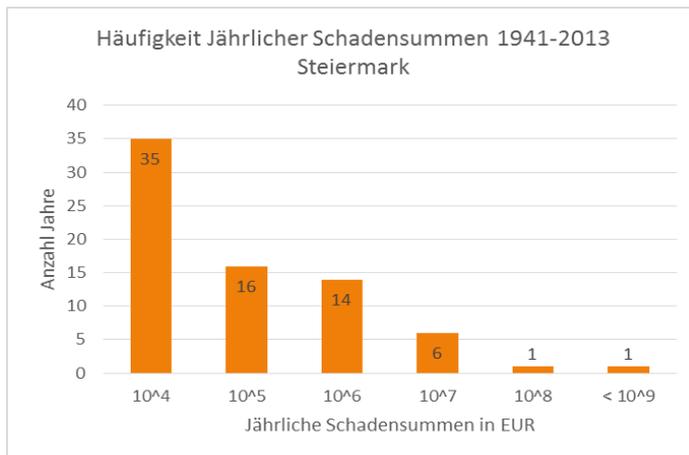


Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung des jährlichen aggregierten Impact auf Basis des WISC-Datensatzes für die Steiermark

Abbildung 12: Geschätzte Jährlichkeit der Impacts für die Steiermark

### Ex-ante Sturmschadenwarnungen (am Beispiel CLIMADA)

Das Erheben von Schadendaten, welche die CESARE-Datenbank speisen, ist mit gewissem Aufwand verbunden. Die Planung dieser Erhebungstätigkeiten könnte zu einer effizienteren Verwendung der benötigten Ressourcen, zu vollständigeren sowie zu qualitativ besseren Schadendaten führen. Wenn die Information, welche Örtlichkeit betroffen sein und welche Größenordnung der Impact annehmen könnte, bereits vor einem Ereignis vorhanden ist, könnte die Erhebungstätigkeit besser geplant werden. Zum Beispiel könnten die benötigten Personalressourcen an den betroffenen Örtlichkeiten eingeplant werden und die Kommunikationswege zwischen den involvierten lokalen und übergeordneten Stellen vorausschauend aufgefrischt werden. Solche Planungsentscheidungen könnten damit aufgrund einer zusätzlichen systematischen Entscheidungsgrundlage gefällt werden.

Die Impaktmodelle können als Gefährdungsinformation die Wettervorhersage verwenden und in Kombination mit Exposition und Verletzlichkeit die aufgrund der Vorhersage zu erwartenden Schäden errechnen. Als Gefährdung kann die Vorhersage der maximalen Böengeschwindigkeit aus der Wettervorhersage verwendet werden. In den folgenden Beispielen wird als Illustration die Wettervorhersage des Deutschen Wetterdienstes (DWD, opendata.dwd.de) mit zwei Tagen Vorwarnzeit verwendet, welche frei verfügbar ist. Es ist technisch auch möglich, andere Wettervorhersage-Daten in CLIMADA einzulesen. Es ist wichtig zu erwähnen, dass die Unsicherheit in solchen Schadensvorhersagen sehr hoch ist. Die Unsicherheit der Exposition und Verletzlichkeit verbindet sich mit der Unsicherheit der Wettervorhersage. In der Wettervorhersage wird die meteorologische Unsicherheit in Ensemble-Modellen abgebildet. Die verwendete Vorhersage des DWD umfasst 40 verschiedene Wettermodellläufe, welche in ihrer Gesamtheit die meteorologische Unsicherheit so gut wie möglich abbildet (DWD, 2021). Die Vorhersage von Sturmschäden und die Unsicherheit wird in Rösli et al. (submitted) genauer beschrieben. Die resultierende Schadensvorhersage mitsamt Unsicherheit kann verschieden dargestellt werden, um eine Entscheidungsgrundlage für die Planung der Erhebungstätigkeiten darzustellen. Je nach Entscheidung kann auf ein Worst-Case Szenario (die schadentreibensten Wettermodellläufe) oder auf die mittleren oder durchschnittlichen Szenarien abgestützt werden.

Anschließend werden beispielhaft die Schadensvorhersagen für drei verschiedene Stürme aus dem Jahr 2021 und drei verschiedene Regionen illustriert. Zum Glück haben sich in Österreich im Jahr 2021 keine größeren Sturmschadenereignisse ereignet. Die drei Beispiele zeigen beispielhaft die Schadensvorhersage von drei kleinen bis mittleren Sturmereignissen, welche in Zeitungsartikeln Erwähnung fanden. Einmal wird die Exposition von Österreich berücksichtigt und je einmal die Exposition der Bundesländer Niederösterreich und Steiermark. Um die potentiell betroffenen Gebiete zu illustrieren, wird der durchschnittliche vorhergesagte Gebäudeschaden pro Gitterpunkt auf einer Karte gezeigt. Um die meteorologische Unsicherheit zu illustrieren, wird die Verteilung der Gesamtschäden aus den 40 einzelnen Wettermodellläufen als Histogramm dargestellt. Die Resultate der drei Beispiele finden sich in den Abbildung 13, Abbildung 14 und Abbildung 15.

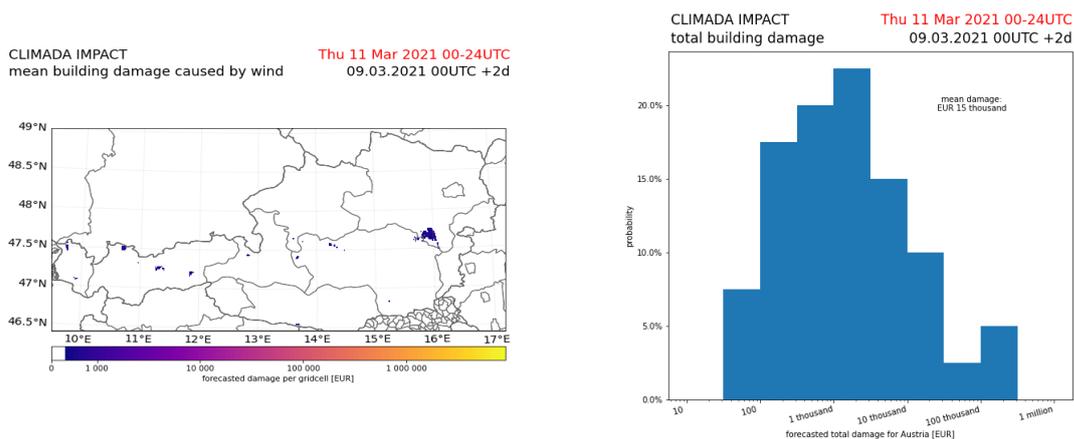


Abbildung 13: Die Vorhersage von zu erwartenden Sturmschäden für den 11. März 2021 aufgrund der Wettervorhersage vom 9. März 2021. Auf der linken Seite wird der durchschnittliche zu erwartende Gebäudeschaden über alle Wettermodellläufe pro Gitterpunkt für ganz Österreich gezeigt. Nur in wenige Gebiete wird die Möglichkeit von kleinen Schäden vorhergesagt, zum Beispiel um die Region Neunkirchen in Niederösterreich. Auf der rechten Seite wird die Verteilung der 40

Gesamtschadenschätzungen, die sich aus den 40 Wettermodellläufen ergeben, als Histogramm dargestellt. Obwohl der durchschnittliche Gesamtschaden für ganz Österreich mit 15'000 Euro sehr klein ist, gibt es einzelne Wettermodellläufe, welche zu einem vorhergesagten Schaden von über 100'000 Euro führen.

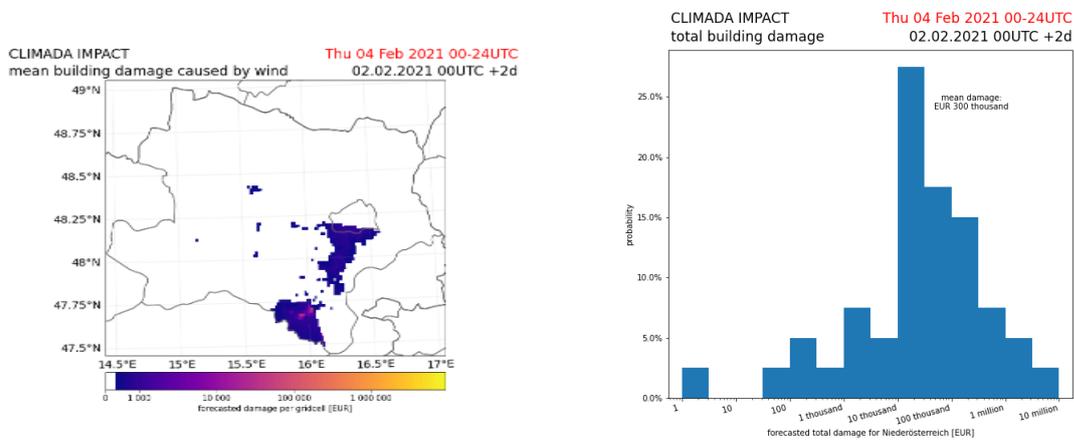


Abbildung 14: Die Vorhersage von zu erwartenden Sturmschäden für den 4. Februar 2021 aufgrund der Wettervorhersage vom 2. Februar 2021. Auf der linken Seite wird der durchschnittliche erwartende Gebäudeschaden über alle Wettermodellläufe pro Gitterpunkt für Niederösterreich gezeigt. In einigen Gebieten wird die Möglichkeit von kleinen Schäden vorhergesagt, vor allem in den dichter besiedelten Gebieten zwischen Wien und Neunkirchen. Auf der rechten Seite wird die Verteilung der 40 Gesamtschadenschätzungen, die sich aus den 40 Wettermodellläufen ergeben, als Histogramm dargestellt. Der durchschnittliche Gesamtschaden für das Bundesland ist mit 300'000 Euro bereits stattlich. Jedoch ist die Unsicherheit beträchtlich: Es gibt einzelne Wettermodellläufe, welche zu einem vorhergesagten Schaden von über 1'000'000 Euro führen, jedoch auch einige Wettermodellläufe mit Schäden unterhalb von 1'000 Euro.

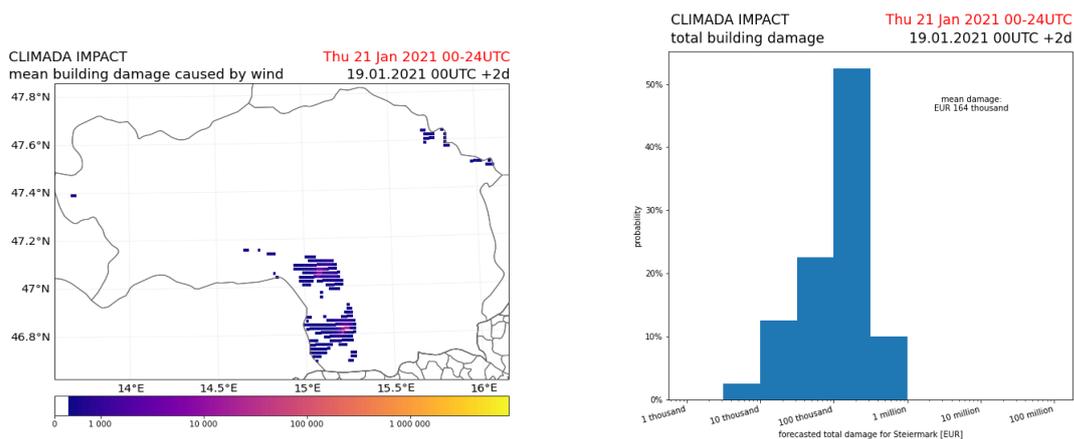


Abbildung 15: Die Vorhersage von zu erwartenden Sturmschäden für den 21. Januar 2021 aufgrund der Wettervorhersage vom 19. Januar 2021. Auf der linken Seite wird der durchschnittliche erwartende Gebäudeschaden über alle Wettermodellläufe pro Gitterpunkt für die Steiermark gezeigt. In den Gebieten rund um Voitsberg und Deutschlandsberg wird die Möglichkeit von kleinen Schäden vorhergesagt. Auf der rechten Seite wird die Verteilung der 40 Gesamtschadenschätzungen, die sich

*aus den 40 Wettermodellläufen ergeben, als Histogramm dargestellt. Der durchschnittliche Gesamtschaden für das Bundesland ist mit 164'000 Euro vorhergesagt. Die Unsicherheit ist immer noch beträchtlich, wie für eine Wettervorhersage mit zwei Tagen Vorwarnzeit üblich, jedoch ist die vorhergesagte Wahrscheinlichkeit, dass sich der Gesamtschaden im tieferen 6-stelligen Bereich hält, über 50%.*

In den abgebildeten Schadensvorhersagen ist die Unsicherheit aus Exposition und Verletzlichkeit nicht abgebildet. Diese zwei Elemente tragen nochmals erheblich zur Unsicherheit bei. Dies ist der Fall bei den landesweiten oder bundeslandweiten Gesamtschäden, vor allem jedoch wenn die Resultate lokaler interpretiert werden. Durch bessere und lokalere Informationen zu Exposition und Verletzlichkeit kann diese Unsicherheit in Exposition und Verletzlichkeit reduziert, jedoch niemals vollständig eliminiert werden.

### Lückenfüllung CESARE-Datenbank (am Beispiel JR-Modell)

Versicherte Schäden sind in den Originaldaten, aus denen sich die CESARE-Datenbank derzeit speist, nur in limitiertem Ausmaß enthalten. Die einzige Quelle diesbezüglich stellt derzeit die VIOLA-Datenbank dar, die versicherte Schäden insoweit enthält, als sie in Medienberichten vorkommen. Die Katastrophenfondsdaten der Bundesländer, die für CESARE eine der Hauptquellen für Daten zu monetären Schäden durch Naturgefahren darstellen, enthalten hingegen nur nicht versicherte bzw. nicht versicherbare Schäden. Je nach Naturgefahr kann dies zu mehr oder weniger stark ausgeprägten Lücken in der CESARE-Datenbank führen. So sind Sturmschäden an und im Haus üblicherweise über die Eigenheimversicherung und die Haushaltsversicherung abgedeckt. Durch die hohe Marktdurchdringungsrate von Eigenheim- und Haushaltsversicherung dürften daher die bei den Versicherern vorhandenen Informationen über weite Teile die Sturmschäden an und in Häusern abdecken, während die Katastrophenfondsdaten der Bundesländer hierzu sehr lückenhaft und nicht repräsentativ sind. Die normale Sturmversicherung für Eigenheime deckt neben Sturm- auch Hagelschäden sowie Schäden durch Erdbeben und Felssturz. Nicht im Rahmen der normalen Sturmversicherung gedeckt sind hingegen Schäden durch Überschwemmung, Hochwasser oder Vermurung. Für diese Gefahren bedarf es einer gesonderten Katastrophenabdeckung, die nur eingeschränkte Versicherungssummen enthält. Gebäudeschäden durch Hochwasser und Vermurung werden von den Katastrophenfondsdaten also deutlich umfassender abgedeckt als etwa Gebäudeschäden durch Sturm.

Die Füllung derzeitiger CESARE-Datenlücken im Bereich versicherter Sturmschäden an Wohngebäuden stellt damit ein weiteres mögliches Anwendungsgebiet der betrachteten Sturmschadenmodelle dar. Das JR-Sturmschadenmodell ist bereits eigens auf versicherte Sturmschäden an Wohngebäuden kalibriert. Zu beachten sind jedoch die Einschränkungen, die im Abschnitt zur Evaluierung des JR-Sturmschadenmodells genannt wurden. So geben die Modellsimulationen, wie auch die folgenden Beispiele zeigen, vielmehr einen Eindruck über die Größenordnung des Schadens als eine exakte Schadensschätzung. Die Schwankungsbreiten der simulierten Schäden können mitunter hoch sein, wobei die Unsicherheit mit der räumlichen Auflösung zunimmt. In aggregierter Form eignen sich die Ergebnisse aber gut, um unterschiedliche Sturmereignisse hinsichtlich ihres Schadenpotentials zu vergleichen bzw. Vergleiche zu großen Stürmen in der Vergangenheit zu ziehen.

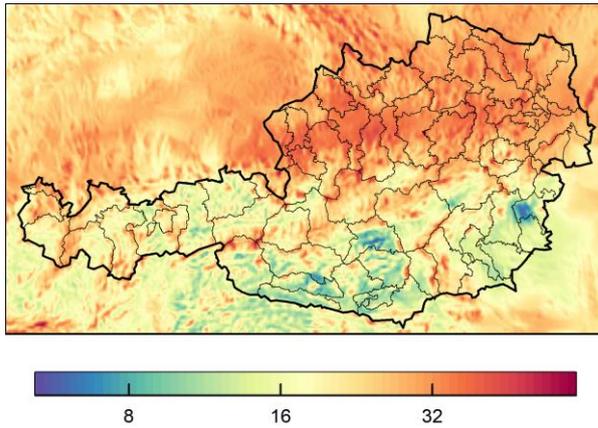
Am Beispiel der drei besonders schadträchtigen Stürme Kyrill, Paula und Emma stellt Tabelle 2 die tatsächlichen versicherten Schäden an Wohngebäuden den mittels JR-Sturmschadenmodell simulierten versicherten Schäden (Erwartungswert und 90 %-Konfidenzintervall) gegenüber. Abbildung 16 bis Abbildung 18 veranschaulicht zudem für jeden dieser Stürme den Weg von den maximalen Böen-Windgeschwindigkeiten, der bebauten Wohnfläche und den Gebäudewerten hin zum Windindex, auf dessen Basis das JR-Sturmschadenmodell die versicherten Schäden an Wohngebäuden simuliert. Dem Erwartungswert der simulierten Schäden werden zudem die tatsächlichen Schäden gegenübergestellt. Die Beispiele illustrieren nochmals den bereits erwähnten Umstand, dass die Schadensimulationen auf aggregierter Ebene einen guten Eindruck über die Größenordnung geben, im räumlichen Detail aber mitunter deutliche Abweichungen und Unsicherheiten aufweisen können.

Abschließend zeigen Abbildung 19 und Abbildung 20 die mittels JR-Sturmschadenmodell simulierten versicherten Schäden an Wohngebäuden für alle von der VIOLA-Datenbank identifizierten Sturmereignissen zwischen 2008 und 2018, einmal auf Ereignisebene und einmal auf Jahresebene aggregiert.

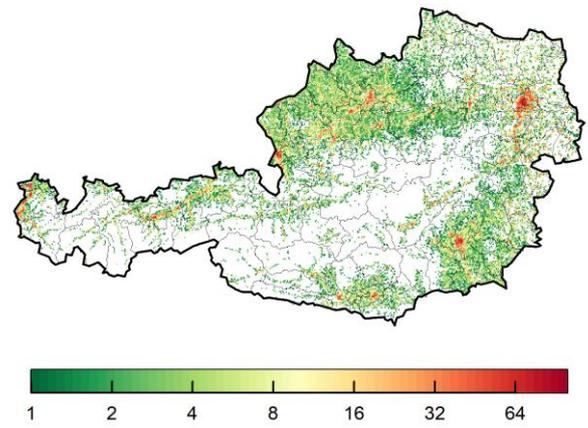
*Tabelle 2: Tatsächlicher versicherter Schaden an Wohngebäuden vs. simulierter Schaden (Erwartungswert und 90 %-Konfidenzintervall) für die Stürme Kyrill, Paula und Emma.*

	<b>Kyrill</b>	<b>Paula</b>	<b>Emma</b>
Ereignisdatum	18.-19.1.2007	26.-28.1.2008	1.-3.3.2008
Tatsächlicher Schaden (Mio. €)	160	62	111
Simulierter Schaden (Mio. €)			
Erwartungswert	175	51	77
90%-Konfidenzintervall	57-428	16-101	26-171

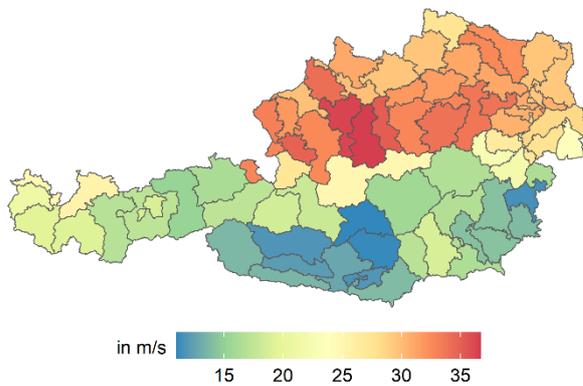
**a) Maximale Böen-Windgeschwindigkeit in m/s**



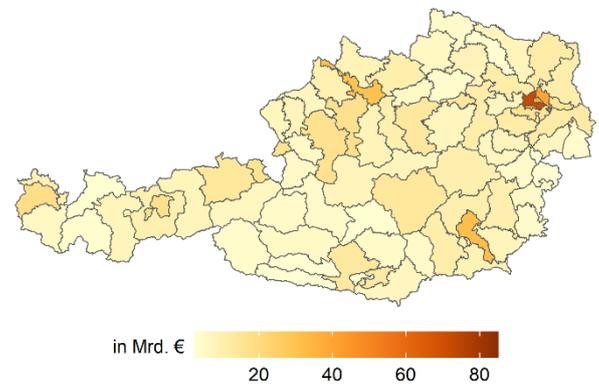
**b) Anteil bebautes Wohngebiet in %**



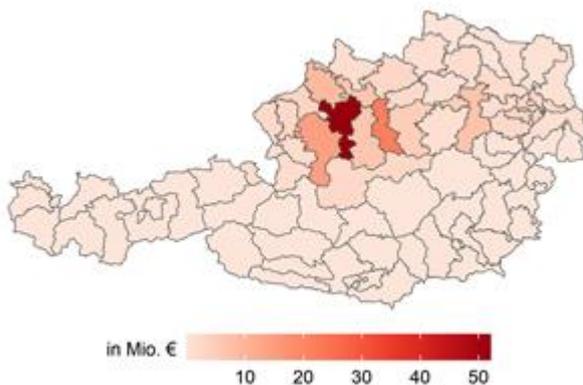
**c) Windindex in m/s**



**d) Gebäudewerte in Mrd. € (laufende Preise)**



**e) Erwartungswert der simulierten versicherten Schäden in Mio. € (laufende Preise)**



**f) Tatsächliche versicherte Schäden in Mio. € (laufende Preise)**

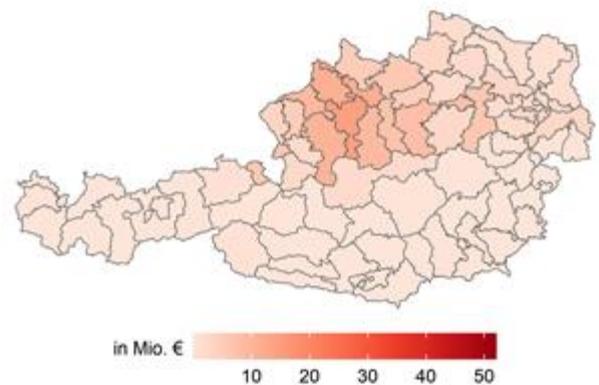
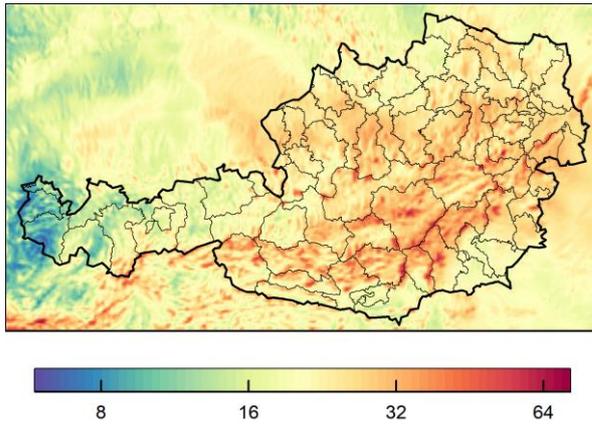
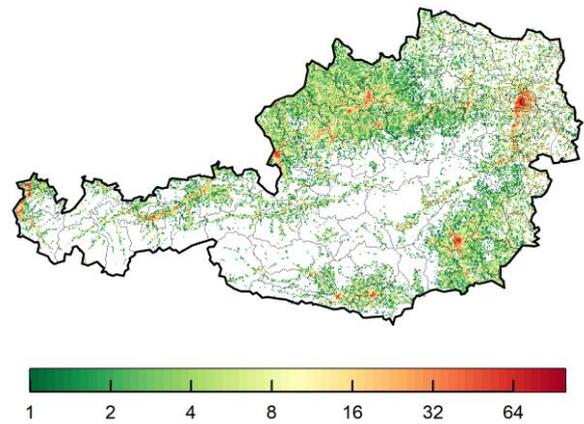


Abbildung 16: Sturm Kyrill (18.1.2007-19.1.2007) – Maximale Böen-Windgeschwindigkeiten per 1 x 1 km Raster (a), Anteil bebautes Wohngebiet je 1 x 1 km Rasterzelle (b), Windindex als gebäudewertgewichtete maximale Böen-Windgeschwindigkeit auf PLZ-2-Steller-Ebenen (c), Gebäudewerte zu laufenden Preisen (d) sowie mittels JR-Sturmschadenmodell simulierte (e) und tatsächliche (f) versicherte Schäden an Wohngebäuden auf PLZ-2-Steller-Ebene.

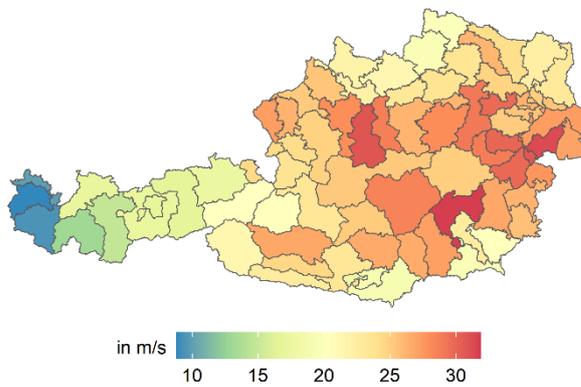
**a) Maximale Böen-Windgeschwindigkeit in m/s**



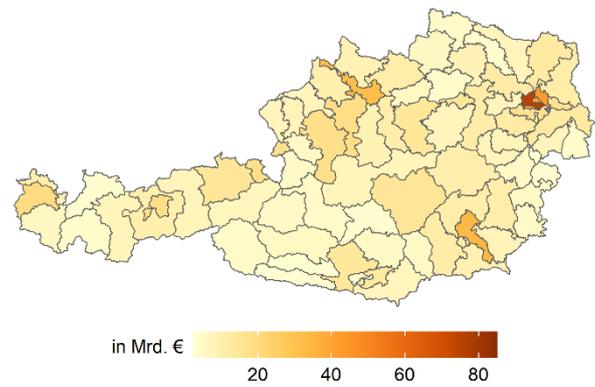
**b) Anteil bebautes Wohngebiet in %**



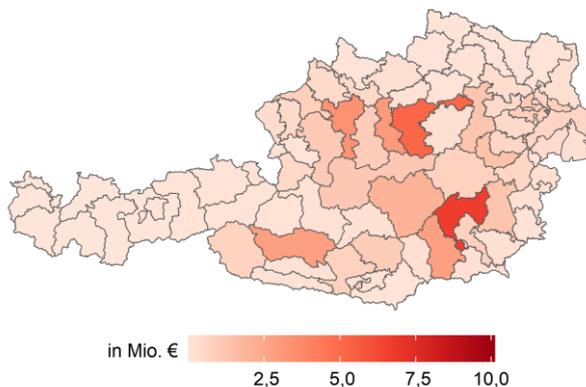
**c) Windindex in m/s**



**d) Gebäudewerte in Mrd. € (laufende Preise)**



**e) Erwartungswert der simulierten versicherten Schäden in Mio. € (laufende Preise)**



**f) Tatsächliche versicherte Schäden in Mio. € (laufende Preise)**

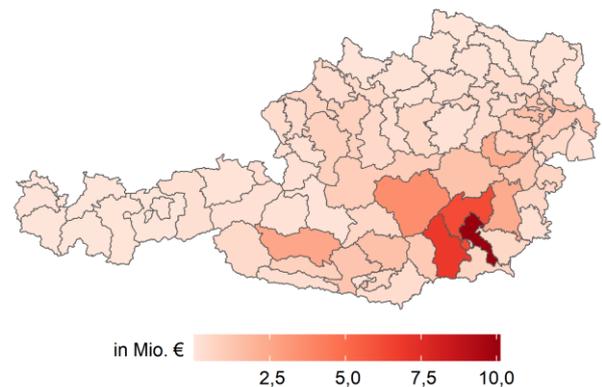
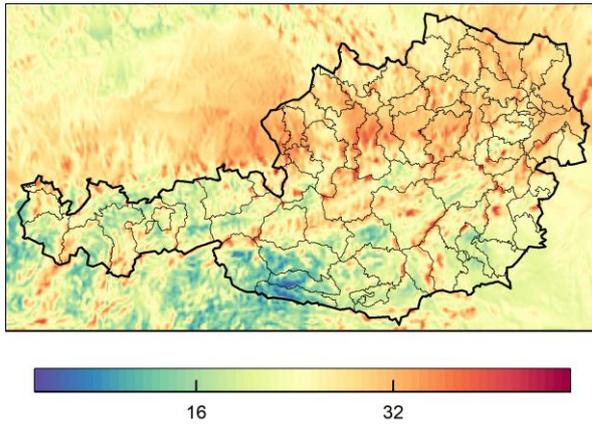
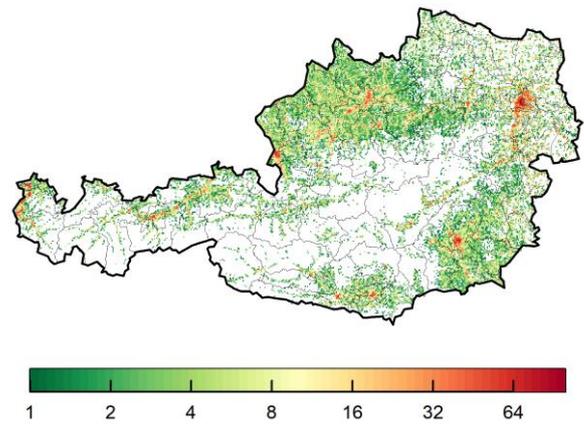


Abbildung 17: Sturm Paula (26.1.2008-28.1.2008) – Maximale Böen-Windgeschwindigkeiten per 1 x 1 km Raster (a), Anteil bebautes Wohngebiet je 1 x 1 km Rasterzelle (b), Windindex als gebäudewertgewichtete maximale Böen-Windgeschwindigkeiten auf PLZ-2-Steller-Ebenen (c), Gebäudewerte zu laufenden Preisen (d) sowie mittels JR-Sturmschadenmodell simulierte (e) und tatsächliche (f) versicherte Schäden an Wohngebäuden auf PLZ-2-Steller-Ebene.

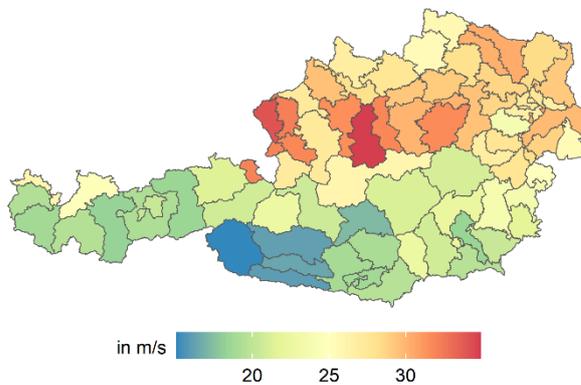
**a) Maximale Böen-Windgeschwindigkeit in m/s**



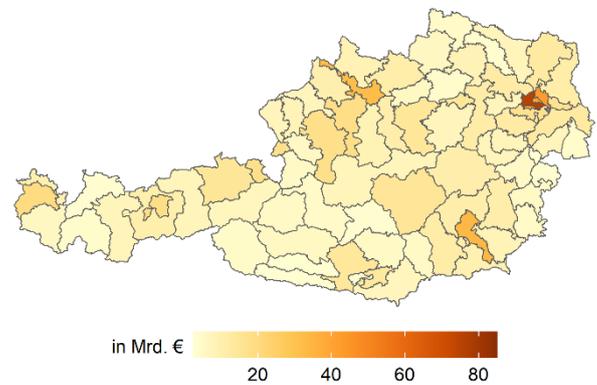
**b) Anteil bebautes Wohngebiet in %**



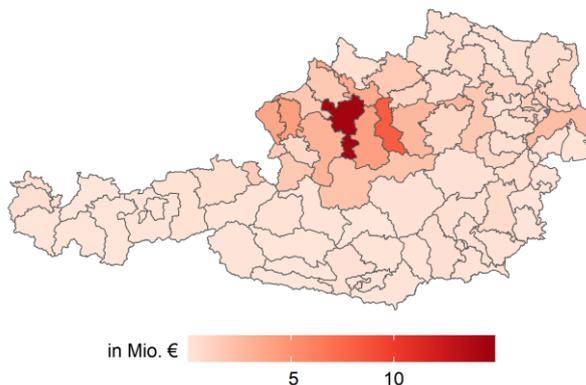
**c) Windindex in m/s**



**d) Gebäudewerte in Mrd. € (laufende Preise)**



**e) Erwartungswert der simulierten versicherten Schäden in Mio. € (laufende Preise)**



**f) Tatsächliche versicherte Schäden in Mio. € (laufende Preise)**

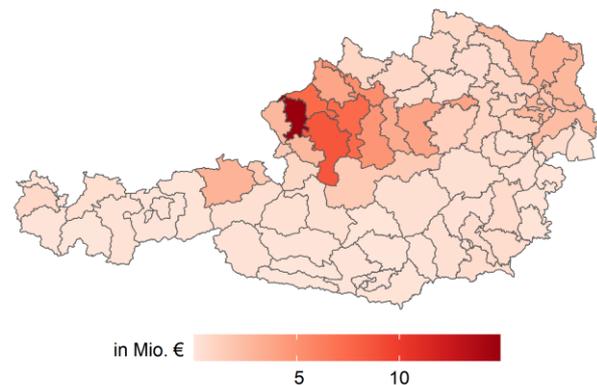


Abbildung 18: Sturm Emma (1.3.2008-3.3.2008) – Maximale Böen-Windgeschwindigkeiten per 1 x 1 km Raster (a), Anteil bebautes Wohngebiet je 1 x 1 km Rasterzelle (b), Windindex als gebäudewertgewichtete maximale Böen-Windgeschwindigkeiten auf PLZ-2-Steller-Ebenen (c), Gebäudewerte zu laufenden Preisen (d) sowie mittels JR-Sturmschadenmodell simulierte (e) und tatsächliche (f) versicherte Schäden an Wohngebäuden auf PLZ-2-Steller-Ebene.

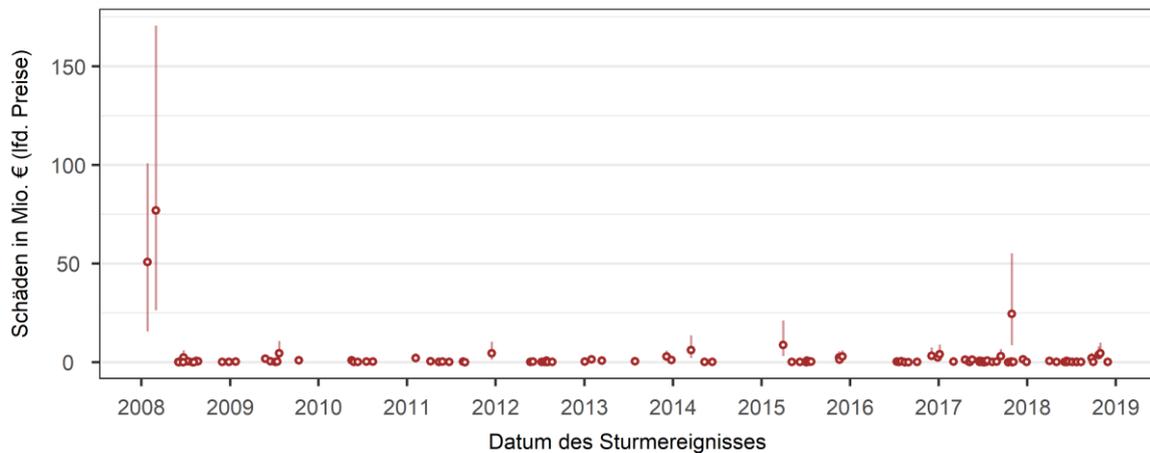


Abbildung 19: Erwartungswert der simulierten versicherten Schäden an Wohngebäuden in Österreich pro Sturmereignis zwischen 2008 und 2018. Fehlerbalken zeigen das 90 %-Konfidenzintervall.

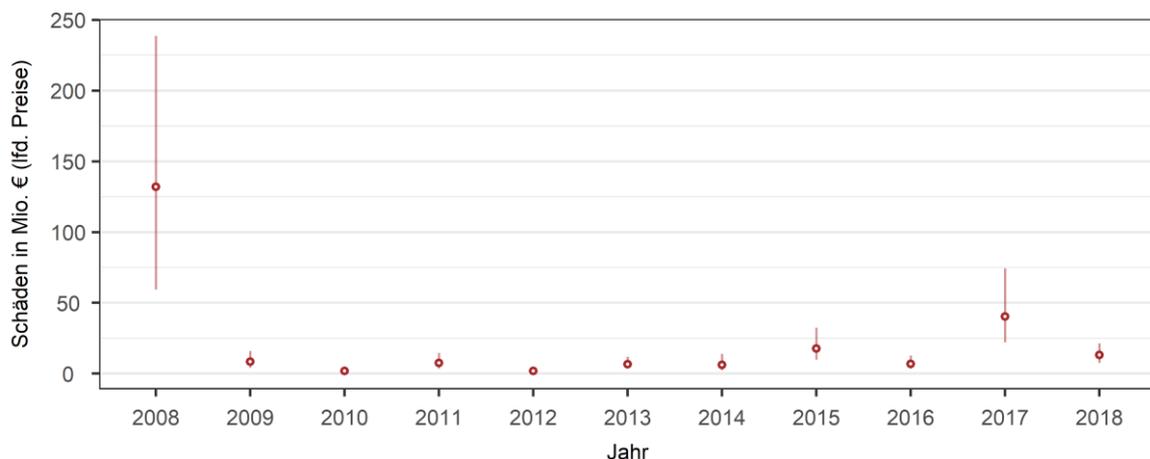


Abbildung 20: Erwartungswert der simulierten versicherten Schäden an Wohngebäuden in Österreich durch Sturmereignisse zwischen 2008 und 2018. Fehlerbalken zeigen das 90 %-Konfidenzintervall.

## 4. AUSBLICK

Der Vergleich und das ‚Benchmarking‘ möglicher Services und Tools stellt dabei eine wichtige Basis zu einer möglichen Weiterentwicklung dar. Dies kann insbesondere der Verdichtung der Daten dienen, bzw. der Validierung von bestehenden Meldungen innerhalb des Datenbanksystems. Im Rahmen des Projektes CESARE konnte dies jetzt nicht operationell integriert werden, stellt aber einen wichtigen Anknüpfungspunkt an Folgeprojekte dar. Im Weiteren kann somit auch eine Verknüpfung in Richtung Risiko-/Impaktanalysen bewerkstelligt werden.

Dies wurde bereits anhand des CLIMADA und JR-Sturmschadenmodells exemplarisch getestet. Auch wenn sich diese Art der probabilistischen Top-Down Impaktmodelle derzeit nur bedingt für das Füllen von Lücken in der CESARE-Datenbank eignet, bieten sie wichtige Anknüpfungspunkte für erweiterte

Services auf Basis von CESARE, wie etwa ex-ante Sturmschadenwarnungen oder klimatologische Analysen zum Sturmschadenpotential. Darüber hinaus kann eine erfolgreiche Umsetzung der von CESARE angestrebten österreichweiten Ereignis- und Schadendatenbank auch die Weiterentwicklung der Impaktmodelle durch verbesserte Kalibrierungsdaten in Zukunft stark vorantreiben und dabei helfen, derzeitige Unsicherheiten in den Schadenmodellen zu reduzieren.

## 5. REFERENZEN

---

Augustin, H., Sudmanns, M., Tiede, D., Lang, S., Baraldi, A., 2019. Semantic Earth Observation Data Cubes. *Data* 4, 102. <https://doi.org/10.3390/data4030102>

Aznar-Siguan G., Bresch DN. 2019. CLIMADA v1: a global weather and climate risk assessment platform. *Geosci. Model Dev.* 12:3085–3097. Available at <https://gmd.copernicus.org/articles/12/3085/2019/>.

Bresch DN., Aznar-Siguan G. 2021. CLIMADA v1.4.1: towards a globally consistent adaptation options appraisal tool. *Geoscientific Model Development* 14:351–363. Available at <https://gmd.copernicus.org/articles/14/351/2021/>.

DWD, 2021, DWD Database Reference for the Global and Regional ICON and ICON-EPS Forecasting System Version 2.1.4, verfügbar unter [https://www.dwd.de/DE/leistungen/nwv\\_icon\\_modelldokumentation/nwv\\_icon\\_modelldokumentation.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/nwv_icon_modelldokumentation/nwv_icon_modelldokumentation.html) (besucht am 18. Aug. 2021)

Eberenz S., Stocker D., Rösli T., Bresch DN. 2020. Asset exposure data for global physical risk assessment. *Earth Syst. Sci. Data* 12:817–833. Available at <https://essd.copernicus.org/articles/12/817/2020/>.

Maisey, P., Becker, B. & Steptoe, H. (2017): WISC Storm Footprint (Gridded Windfield) Description. available at: [https://wisc.climate.copernicus.eu/wisc/documents/shared/C3S\\_WISC%20Storm\\_Footprint\\_\(Gridded\\_Windfield\)\\_Description\\_v1.0.pdf](https://wisc.climate.copernicus.eu/wisc/documents/shared/C3S_WISC%20Storm_Footprint_(Gridded_Windfield)_Description_v1.0.pdf) (accessed 20.12.2021)

Prettenthaler, F., Albrecher, H., Köberl, J., Kortschak, D. 2012. Risk and insurability of storm damages to residential buildings in Austria, *The Geneva Papers*, 37, 340-364, doi:10.1057/gpp.2012.15.

Rösli, T., Appenzeller, C., & Bresch, D. N. (2021). Towards operational impact forecasting of building damage from winter windstorms in Switzerland. *Meteorological Applications*, 28( 6), e2035. <https://doi.org/10.1002/met.2035>

Schwierz C., Köllner-Heck P., Mutter EZ., Bresch DN., Vidale PL., Wild M., Schär C. 2010. Modelling European winter wind storm losses in current and future climate. *Climatic Change* 101:485–514.

Sudmanns, M., Augustin, H., van der Meer, L., Werner, C., Baraldi, A., Tiede, D., 2021. One GUI to Rule Them All: Accessing Multiple Semantic EO Data Cubes in One Graphical User Interface. *GI\_Forum* 1, 53–59 [https://doi.org/10.1553/giscience2021\\_0](https://doi.org/10.1553/giscience2021_0)

Welker C., Rösli T., Bresch DN. 2021. Comparing an insurer's perspective on building damages with modelled damages from pan-European winter windstorm event sets: a case study from Zurich, Switzerland. *Natural Hazards and Earth System Sciences* **21**:279–299. Verfügbar unter <https://nhess.copernicus.org/articles/21/279/2021/>.